O FUTURO DA ENERGIA

Revista O Futuro da Energia, v.1, n.2, 2016 - ISSN: 2526-1703

O FUTURO DA ENERGIA

Gerência de Estudos Tecnológicos e Alternativas Energéticas

REVISTA O FUTURO DA ENERGIA

CEMIG
2016

Revista O Futuro da Energia [Recurso eletrônico] / Gerência de Estudos Tecnológicos e Alternativas Energéticas/CEMIG. - Belo Horizonte, v.1, n.2, dez. (2016 -).

Anual.
Disponível em http://sgpdj.cemig.com.br/ojs/index.php/ALTENER
ISSN: **2526-1703**

1. Energia – Periódicos eletrônicos. 2. Energia - Fontes alternativas – Brasil. 3. Recursos naturais renováveis. I. Companhia Energética de Minas Gerais. Gerência de Estudos Tecnológicos e Alternativas Energéticas. II. Título.

CDD: 620.91

SUMÁRIO

The Future of Solar Energy is Now!

Antonia Sonia Alves Cardoso Diniz[a] and Lawrence Lee Kazmerski[a,b]

Abstract – "The future of solar energy" has been the topic of discussions, speculations, and predictions for decades. We wondered when or whether the sun would become a real "alternative" source of electricity beyond powering our calculators, watches, toys, garden lights, and other niche markets. No longer. The tipping point to this clean-energy was experienced at the start of this decade, and the future is here, now. Solar technologies are penetrating our world electricity generation. It has gained acceptance—and is part of the energy planning of our planet. We are starting to live this "solar energy age."

Key words: *solar energy, solar technologies, concentrated solar power (CSP), photovoltaics (PV).*

I. INTRODUÇÃO

The sun's electromagnetic energy comes to the earth in the form of radiation. Our source of solar energy is generated within the sun by thermonuclear fusion reactions—but this nuclear power station is safely located 149,600,000 Km from the earth! From this solar radiation, we can directly use the thermal portion to heat our water, dry our crops, or heat and cool our buildings. We can also convert this electromagnetic radiation into high-value electricity—the focus of this article.

The two primary solar electricity pathways are different. Concentrating solar power (CSP) uses mirrors to concentrate (focus) the sun's energy and convert it into high-temperature heat. That thermal energy is then channeled through a conventional electrical generator scheme [1]. Solar photovoltaics (PV) converts the sun's radiation directly and immediately into electrical power [1]. This solar battery silently produces dc-current and voltage as-long-as it is exposed to light.

Now let us explore the underlying technologies, the economics, the status, the strengths and challenges, and the future directions and expectations of each of these two solar-electric approaches.

II. SOLAR ENERGY TECNOLOGIES

A. Concentrating Solar Power (CSP)

The picture of large-fields of solar mirrors or parabolic dishes are perhaps our common perception of solar energy. Movies and television/web commercials use these as backdrops

or action-landscapes because of their spectacular, high-tech visual effects.

History and Background: We sometimes ascribe the first use of this concentrated solar energy to Archimedes—who reportedly used polished military shields to repel the invading Roman fleet from Syracuse [2]. Whether myth or fact, this is indeed an early recognition that the use of some reflective surface can focus enormous amounts of energy into a small area. The use of this focused solar energy to drive a conventional electrical generator is analogous to the conventional fossil fuel power station technology, but replaces the coal or natural gas with clean solar energy.

In fact, Auguste Mouchout [3], a French mathematician and physicist, used a parabolic mirror to produce steam for the first solar steam engine in 1866. And some 20 years later, an Itallian, Alexandro Battagia [4] patented the solar collector design and approach that is the foundation for our modern concentration solar-thermal power. The Italian tradition in this technology continued with Professor Giovani Francia [5] designing and building the first concentrating solar power plant, producing about 1 MW, near Genoa in 1968. The oil crisis of the 1970s drove the development of "Solar One" [6], a 10-MW power tower located in Southern California in 1981. It was followed by a parabolic trough Solar Energy Generating Systems (SEGS) plant in 1984 [7]. This Mohave Desert in California facility is not only still in operation, but is the largest CSP power plant in the world currently.

Technology and Approaches: Four major technologies are used in CSP to concentrate the incoming radiation on a surface to generate the high temperatures [1]. These are (1) Tower technologies that use heliostats (flat or nearly flat large mirrors), (2) Parabolic Troughs whose precisely curved mirrors focus the light on a line. (3) Linear Fresnel systems that also focus onto a linear receiver. These three approaches currently dominate the market—and provide heat (steam) to drive turbines. And (4) Parabolic dishes that focus on a spot or very small area, and usually use a Stirling engine to provide the electric power. These are shown in Figures 1, 2 3, and 4 respectively.

Each of these approaches has its own benefits and limitations. The economics of all three become competitive with large (central station) installations, 100-200 MW or greater [8]. But there are some recent examination of the trough and dish technology for smaller, dispersed applications (~100 kW) that could have lower economy of scale for remote, village power [9].

[a] Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Belo Horizonte, Brasil. [b] National Renewable Energy Laboratory-NREL,Golden, CO, USA. [b] RASEI – Colorado University Boulder, CO, USA. Este trabalho foi apoiado parcialmente pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).
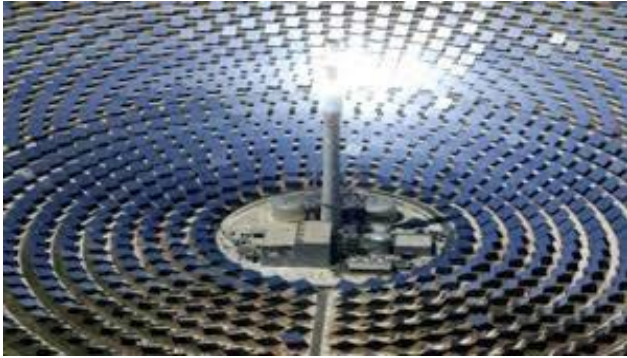
Figura 1. CSP Tower, with array of heliostats (mirrors) directing the sun's radiation onto the central tower.

Figura 2. CSP parabolic trough, with the linear parabolic reflectors providing a line focus onto the thermal receiver.

Figura 3. Compact linear Fresnel reflector CSP collector system.

Figura 4. Parabolic dish technology, focusing the sun's rays onto a small área ('spot") at the focal point of the reflecting parabola.

Location, Location, Location (Issues and Strengths): CSP by its nature operates best of the direct-normal irradiance (DNI) portion of the solar spectrum [1]. Thus, desert regions such as the southwestern part of the U.S., the Sahara and Gobi deserts, the Mediterranean (southern Spain, Italy), portions of Australia, much of the Middle East, and northeast Brasil are rich in DNI.

Because the systems typically use water (like a conventional fossil thermal plant), the availability of this resource is key. There are alternative approaches such as closed cycle systems that are promising.

The preferred locations are topologically "flat" because of (1) the area needed (e.g., for towers and troughs) and (2) to avoid "moving mountains" or requiring costly investments in land preparation. Finally, because these are typically central-station power, the systems are better located near transmission lines to avoid those high expenditures needed to build those electricity lines.

But CSP brings with it a huge benefit—storage. Inherent to the thermal process is the capability to store that thermal energy using molten salts or oils. This technology can continue to produce electrical power even after the sunshine disappears—for hours. This allows electric utilities to balance the intermittencies of solar availability by storing energy to be used during peak energy consumption hours, which, depending on the season, can occur before the sun rises and after it sets. CSP with thermal energy storage can also enable higher levels of penetration of other variable generation sources onto the electrical grid. This "storage advantage" is one major reason why the expectations for CSP remain high for competitive utility-scale power plants.

Another sometimes-overlooked benefit of this solar thermal technology is that it can integrate with existing fossil fuel plants to both offset carbon-based fuel use—thus having benefits in reducing pollution, climate-change emissions, and lowing the overall carbon footprint.

Costs, Capacity, and Trends: In 2015, cumulative worldwide CSP installations approached 5 GW [10], with Spain and the United States far outpacing the rest of the world (Fig. 5). However, predictions indicate that the growth will slow somewhat in 2016, but likely recover in 2017.

The cost of CSP continues to decease—and a good representation is from the U.S. Department of Energy SunShot Initiative [11], which has reported a 43% drop in cost over the 2010-2015 timeframe. This cost evolution and prediction is shown in Fig. 6.
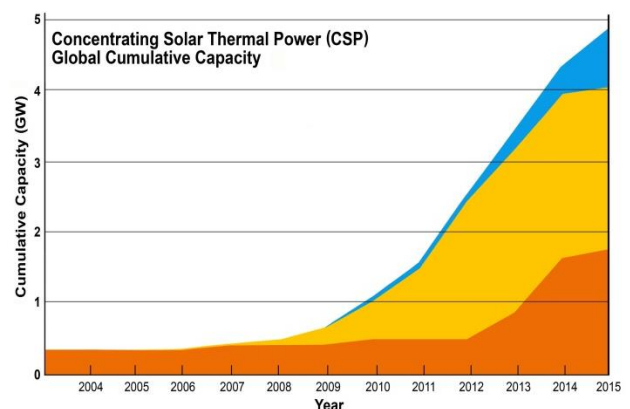
Figura 5. CSP cumulative Global capacity. In 2015, this CSP capacity has reached 4.94 GW [after Ref. 10].

The promise of and plans for large CSP deployment were highest during the first decade of this century. For large electric plants, it had the lowest solar electric costs and predictions of continuing cost decreases. GWs of facilities were put on the drawing board in the U.S., Spain, North Africa, Australia, and the Middle East. However an unanticipated game changer arose from the Asia continent to shake up the conventional thought and anticipated dominance of CSP for larger-scale installations.
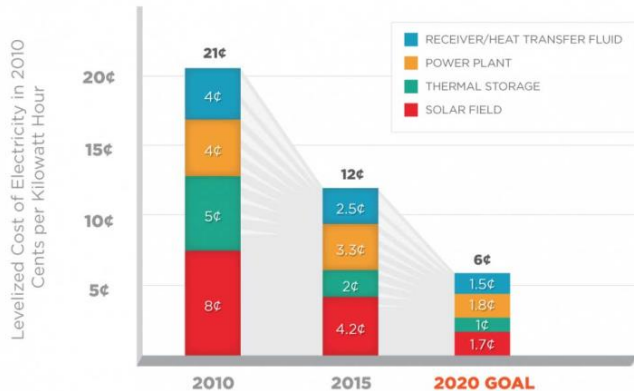
Figura 6. Cost decreases of CPS technology over 2010-2015, with breakdown for each system component. The target costs for 2020 are also shown, making CPS competitive with central station fossil fuel plants [11].

B. *Solar Photovoltaics (PV)*

Historical Perspectives: The photovoltaic effect was first reported by French physicist Edmond Becquerel in 1839 [13]—working solid-electrolyte interfaces. The first solid-state PV device was accomplished by American inventor Charles Fritts in 1883 using selenium. However, the performance of the technology remained low until the mid-1950s. The Bell Telephone Laboratories team of Gerald Pearson, Daryl Chapin, and Calvin Fuller brought the 'solar battery' to some level of performance respectability [14]. Their silicon device, developed for use on telephone repeaters in the Bell system, exceeded 6% by 1954—and the rest is history. The Si solar cell went on to power Vanguard I [15] in 1958 (the first solar-powered satellite)—and then became the technology of choice until this day for the space-satellite markets (though the technology has been revolutionized to new levels and materials to power those more than 1400 satellites rotating around our earth today). What drove the PV cell back down to earth was the "oil crisis" of the 1970s—and the milliwatts that powered that Vanguard space experiment 6 decades ago have become multi-gigawatts on earth today.

Technology Diversity: The materials and devices of current PV technology span from crystalline (Si and GaAs) to polycrystalline thin films (CdTe, Cu(In,Ga)Se2, Organic PV, amorphous-Si, and several emerging materials). The power conversion efficiencies range from the 10% level to concentrator cells with over 45% in the laboratory. Thicknesses of these device range from about twice the thickness of a human hair, to the 2-8 µm level (about 1/10 the diameter of that hair). Over time, our ability to handle more complex materials has evolved-from elemental semiconductors to binary and ternary absorbers, to current complex hybrid materials. These diverse technologies are represented in the chart of Fig. 7, showing the development of performance over time for best-of-class research cells [16].
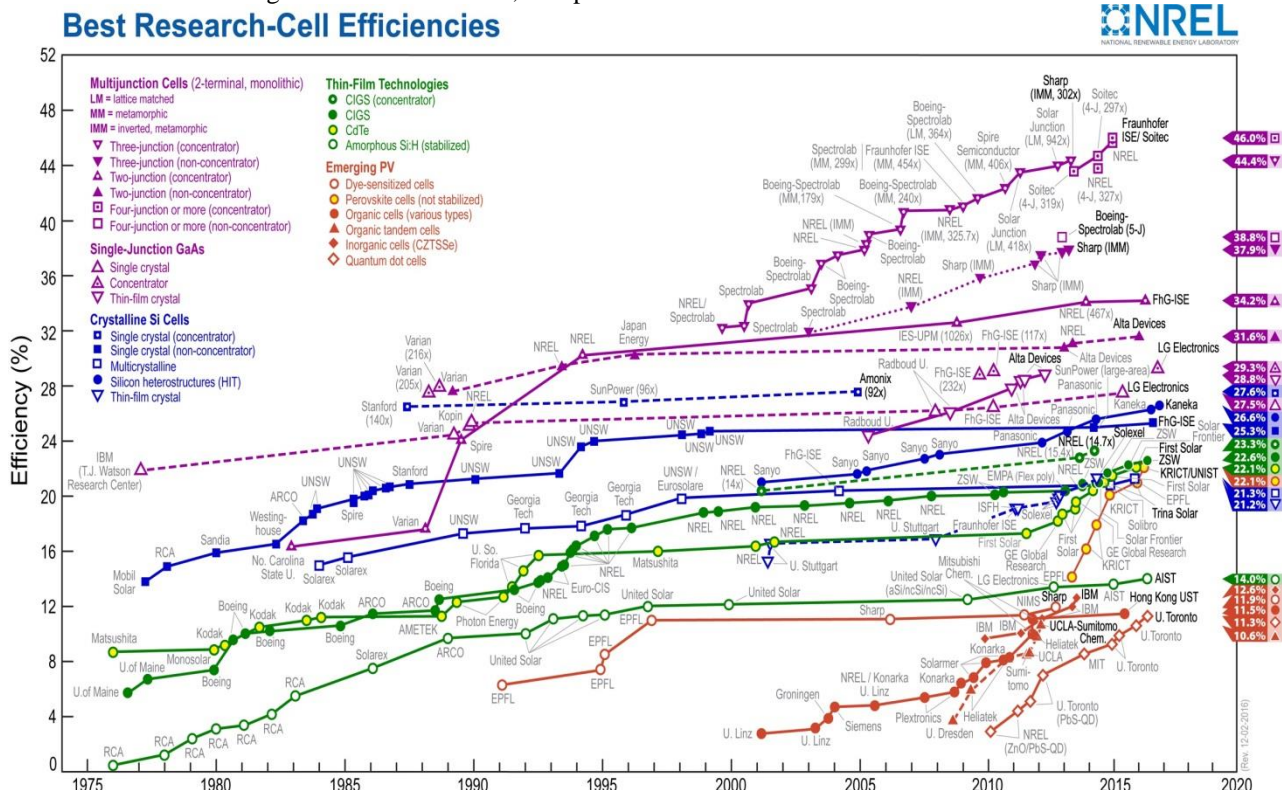
Figura 7. "Best of class" research-cell efficiencies as a function of time, showing the diversity of technologies and their continued performance improvement. A closer examination of this chart also gives evidence on our ability to handle more complex materials and devices as supporting processing, characterization, and modeling have advanced [16].

Technology and Approaches: Photovoltaic cell are used in both non-concentrator (usually termed "flat-plate" as in Fig. 8) and concentrator approaches (see Fig. 9) [1]. More than 99% of the PV installed in the world is flat-plate.

Concentrating PV: The concentrators primarily use lenses and reflectors to focus the sunlight. And the level of concentration varies from "low" (e.g., 2-100 times concentration) to very high (>1000x). Since the 1980s, concentrated PV has always been "the next disruptive technology"—and this anticipatory position remains today. Costs of concentrators have decreased significantly over the last couple decades, but like CSP, the systems have not yet been able to compete with their flat-panel relatives. PV concentrators mostly require trackers to follow the sun during the day (usually 2 or 3 axis tracking depending on the concentrator and PV technology used), though there are some innovative approaches that eliminate the need for these mechanical systems.

Figura 8. Flat-panel Si-PV plant with fixed module orientation.

Figura 9. Fresnel lens PV concentrator system (left) and parabolic dish PV concentrator (right)

The cells used in concentrators have evolved considerably over the last 30 years [1]. Originally, Si was the cell-of-choice. Though Si remains a contender (primarily for low-concentration systems), the co-development of multiple-junction III-V semiconductor based solar cells for space provided a new option for these systems. The multiple junction cells (see Fig. 10) "stack" cells of different bandgaps on top of each other—with each cell tuned to a different portion of the solar spectrum. Thus, the cell better utilizes the volume of incoming photons across the sun's light wavelengths—in the same area. But these cells are expensive—so a 1000x concentrator means you only need about 1/1000 of that cell's area (and expense!). The key to the economics is to use relatively inexpensive concentration schemes to minimize the semiconductor device investment.

Non-concentrating PV: Flat-plate PV dominates the world markets. These panels are commonly mounted in rigid arrays, tilted and the latitude of the installation to optimize acceptance of the solar radiation (Fig. 7). The major technologies are represented in Fig. 10—with their relative thicknesses compared to the diameter of a human hair.

Comparison of Figs. 7 and 11 give evidence of the status, range, and progress of these distinctive PV technologies. Crystalline Si currently dominates the PV markets, as evident in Fig. 12, which shows the distribution of technologies of PV shipped into the markets over the period 2004-2015 [17].
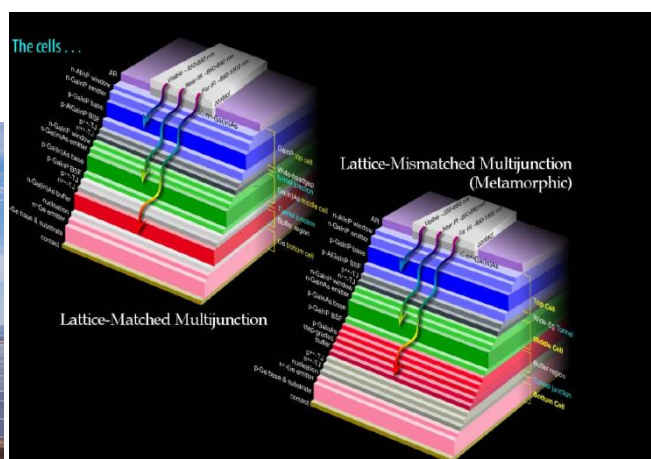
Figura 10. Multiple-junction solar cells for concentrator applications. Cells are both 3-junction stacks, with the top cell tuned to the blue part of the solar spectrum, the middle cell to the yellow-green portion, and the bottom cell to the red. These are grown layer-by-layer by metalorganic chemical vapor deposition and an integrated structure, with the cells electrically connected by a tunnel vapor deposition and an integrated structure, with the cells electrically connected by a tunnel junction. 3- and 4-junction cell structures are now common. The cell on the left has all layers perfectly matched in crystal structure. The metamorphic structure on the right has crystalline lattice mismatched layers.
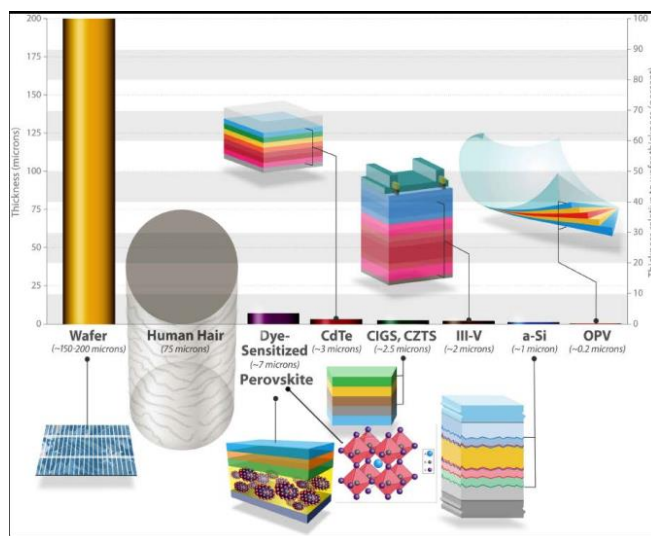
Figura 11. Breadth of PV technologies from Si to OPV, represented by their relative thicknesses and compared to the average thickness of a human hair.
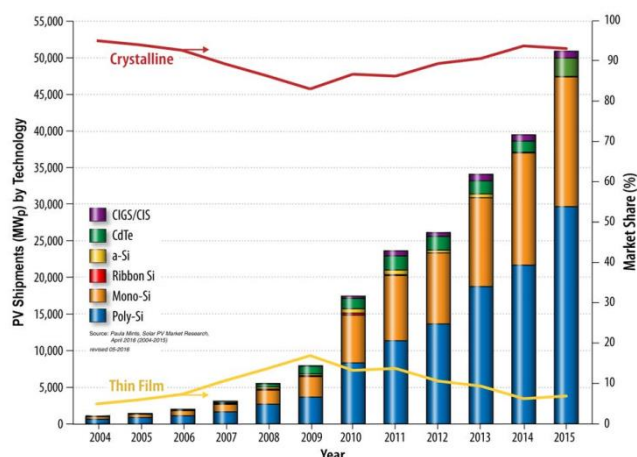
Figura 12. Photovoltaic shipments into the market over the period 2004 though 2015 by technology. The current markets are dominated by crystalline Si—but the thin films are expected to gain market share in the coming periods. Currently, CdTe and CIGS are the major thin-film commercial products [17].

Silicon technology is predominantly wafer-base and itself breaks into two designations: (1) Single-crystal, and (2) Poly- or multi-crystalline. The single crystal technologies have higher efficiencies—and higher costs associated with the more perfect Si substrate. But a great deal of device engineering has been invested in both approaches—so that greater than 20% cells are produced off commercial lines for the single crystal approaches, and 18-20% for the multicrystalline technologies. The high-value competitors in the Si area are the interdigitated back-contact cell (sometimes called 'point contact') by SunPower [18]—who have demonstrated 25% large-area selected devices and have cells >23% off their production lines. With the contacts on the back, there is nothing to obscure the incoming photons from reaching the semiconductor absorber. The science and engineering of this cell is quite intricate—and every photon impinging on the surface can potentially produce the important electron-hole pair and contribute to the power of the device. The highest performing single-junction Si research cell is the Si-heterojunction (the "HIT" cell) originally developed by Sanyo and now produced by Panasonic [19]. It utilizes a thin amorphous Si:H film on the front surface that passivates that interface and forms a heterojunction. The interesting aspect is that this cell has the stability of the crystalline Si and the higher temperature operation of the amorphous layer.

The rest of the PV family in Fig. 10 are in the category of thin films—with device thicknesses less than 10 µm. The amorphous Si:H (a-Si:H) PV technology was the leader among the commercial alternative for decades [17]. This semiconductor is one that has no order to its atomic configuration with some interesting optical and electronic properties. Several complementary applications (e.g., flat-panel displays) brought enhanced understanding of this semiconductor that leveraged PV device development. However, issues with lower efficiencies and light-induced degradation (i.e., the power decreased over time to light exposure) eventually led to abandonment of almost all manufacturing base.

The two current commercial leaders are cadmium telluride (CdTe) and copper-indium-gallium-selenide (CIGS). Both technologies have validated cell efficiencies above 22%, the same range as multicrystalline Si (Fig. 7) [17]. There is still space for improvement in the module performance, with both technologies currently in the 16% range for the best commercial devices. Thin films typically exhibit one performance advantage—in they begin collecting solar energy earlier in the day and continue collecting later into the later afternoon because of module design and materials properties. Because they also have higher semiconductor bandgaps, they also have potential to operate better at higher temperatures (something the makes them interesting for harsh climate regions).

GaAs devices are the basis of the concentrator approaches, but single-junctions have advanced with some impressive results. One interesting approach preserves the high-efficiency of the cell but integrates it into a flexible structure. These III-V approaches are still in the commercial development stage, but continue to harbinger promise as a disruptive technology in our next-generation choices.

Concern with materials availability and perceptions about -toxicity led to the investigation of a whole range of 'earth abundant', potentially safer semiconductor absorbers. These included getting the non-indium alternative to CIGS, copper-zinc-tin-sulfur-selenide (CZTS). Though laboratory demonstrations were initially impressive, ability to show large-scale manufacturing processing and performance improvement have stalled the research investments into this approach.

Organic photovoltaics (OPV) were first investigated in the late 1970s, but were not serious until the progress with these organic materials as semiconductors in the 1990s, Even so, device progress was gradual—and the performance (efficiency and long-term stability) deferred technology attention to other approaches. A number of serious commercial ventures were established and several are still in operation, including a respectible facility in Brazil [20]. The ability to produce these solar cells by roll-to-roll processing in large areas continue to bring some focus on these "plastic solar cells".

The dye sensitized solar cell (DSSC) had positive contributions in efficiency, ability to process at low energy for large areas, and some serious commercial manufacturing. But the DSSC has always been plagued by worries (stability) associated with the liquid dyes used for device functionality [21].

One evolution of this approach has been the spectacular appearance of the perovskite onto the photovoltaic stage. Switzerland's and UPFL's Michael Grätzel, the father of the DSSC 21], was searching for solid-state alternatives, and came upon the perovskites. In 2013, he had confirmed the efficiency of a device above 13% in the laboratory—and the work on this emerging technology never looked back. In 4 short year, the research device has exceeded 21%. The material is a "hybrid perovskite" (Fig. 13) [22], based on inorganic and organic materials components. Research on this device is pervasive to almost every research laboratory in the world now—and its extraordinary properties continue to be exploited and understood. However, the best cells use a Pb-based perovskite—with concerns about material toxicity ("get the lead out"). The development of manufacturing scale processing is also an issue. But the short time from

demonstration to outstanding conversion efficiencies has not been encountered in the last 7 decades of PV R&D. This is an emerging technology to continue to monitor—and one that shows that PV has surprises that can turn directions and investments quickly in an era that technology advancements benefit from rapid introduction of characterization, materials design and processing, and understanding that were not previously available [22].
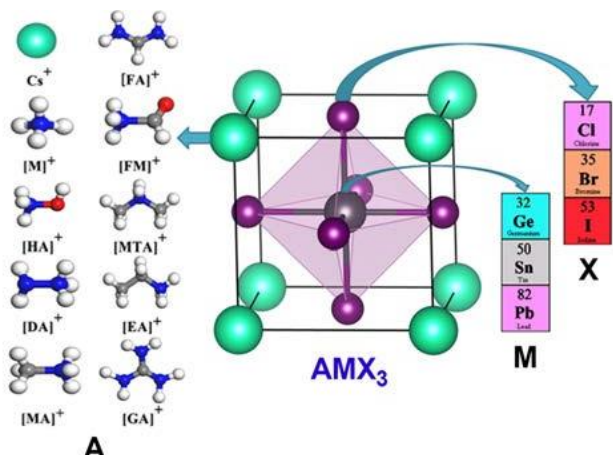
Figura 13. Representation of the hybrid perovskite (AMX3) showing the possible components of interest.

Costs, Capacity, and Trends: In 2015, more than 50 GW of PV were shipped into the world markets (Fig. 14) [17], a 27% growth over the previous year. Cumulative PV installations are now in the range of 240-260 GW, producing real power into our energy economies. PV does represent the fastest growing of the renewable energy approaches. But why? Where is this PV coming from? And where is it all going?

Where is this PV coming from? In the 1990s and early 2000s, the PV manufacturing was distributed in the U.S., Europe, and Japan. But in 2008-2012, PV hits its tipping point for price reduction—spurred by the rapid growth and contributions from China and Asia. The tipping point was marked by a rapid decline in PV module prices from the \$3.50-\$4.00/watt range down to the current \$0.50-\$0.70/watt levels [17]. This remarkable decline in prices spurred markets, with about 50% of the PV shipped from China and somewhere near 85% from Asia [17].In fact, the top 10 manufacturers of PV have their major operations in

Asia (including First Solar, which is sometimes identified as a U.S. manufacturer). All these 10 manufacturers have outputs exceeding a GW/year. So this "China Syndrome" has been the major factor in helping PV spread like wildfire in this short period.

Where is this PV going? Through the first part of this decade, the major market was Germany. In 2011, 75% of the PV produced was shipped into Germany—certainly a region of modest solar resource! But things have changed considerably.

China has jumped into the country lead for both PV installed in the last year and in cumulative PV installations (Fig. 15) [17]. This very well complements their lead in PV production
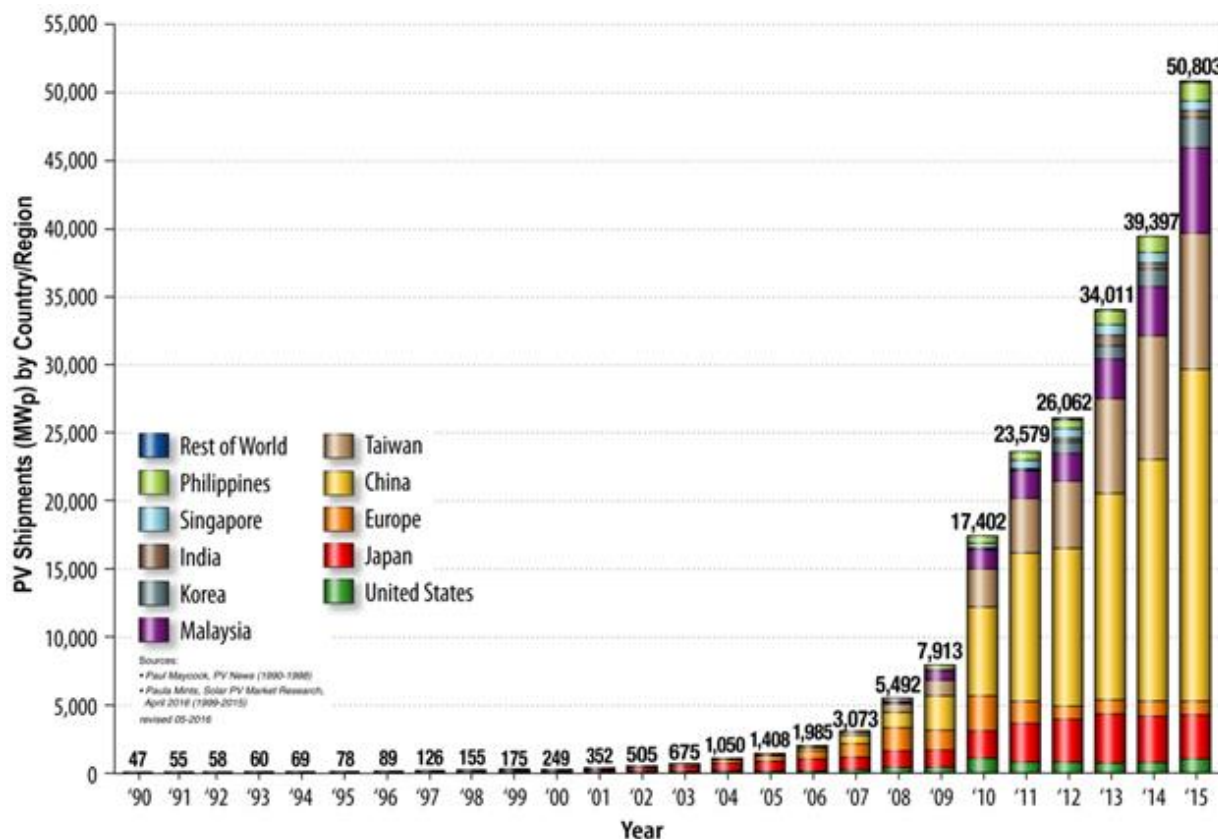
Figura 14. Annual PV shipments by country or region from 1990 through 2015 showing the incredible growth of this technology—leading to 240-260 GW of current cumulative installations worldwide [17].
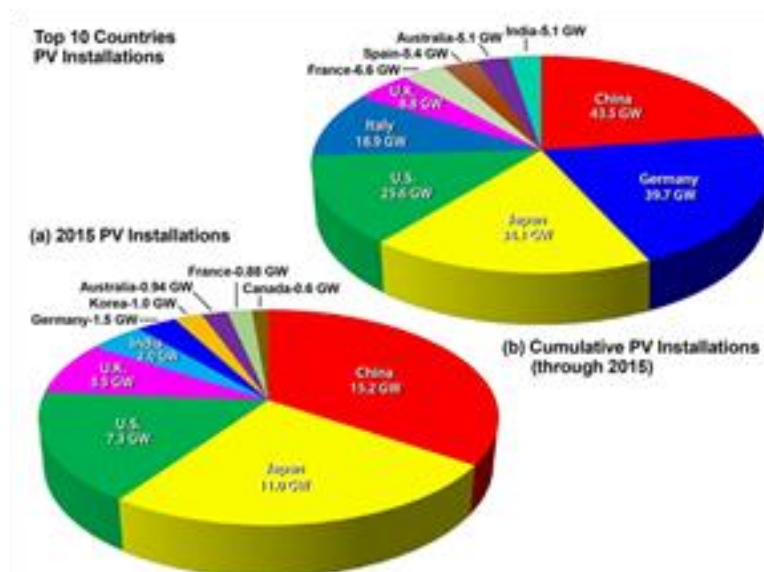
Figura 15. PV Installations for the top-10 countries in the world: (a) Installed in 2015; (b) Cumulative PV installations through 2015. China now leads the world in PV electricity capacity [after Ref. 17].

Issues and Strengths: PV is trending very positively in world market penetration, with many countries now having aggressive goals for solar electricity production. India's Nehru Solar Mission had led the world with its target of 100 GW by 2022 [23]—something that has actually spurred the rest of the world to examine and "up" their goals. Recently, China has surpassed this with a 150 GW PV goal by 2020 [24]! Both of these over-populated countries would certainly benefit from these large, clean energy alternatives to their current coal-fired electricity plants. The Middle East and North Africa possess huge solar resource—and are also establishing aggressive solar programs (Saudi Arabia, Bahrain, Jordan, Qatar, Kuwait, Egypt, Morocco, Algeria, etc.). Qatar will be depending heavily on PV in hosting the 2022 World Cup—with their stadiums aimed at operating with energy only from renewable energy sources.

Still, issues remain. Though the costs have fallen for the PV module, the balance-of-systems components are slower to catch up. A major issue remains the high initial cost of the installation, though monetary payback periods have been cut in half over the last 5 years. Equal concern is reliability—the ability for those systems to perform over the 25-30 years that are expected. With the new markets in harsher climates, new standards and new encapsulation approaches will be necessary. And to reach the real terawatt (TW) levels needed, the manufacturing capacity has to undergo quantum leaps to even higher levels and manufacturing costs have to continue to drop. And there is always the need for inexpensive, reliable, energy-dense storage—to be able to make the solar less intermittent and potentially enable "24-7" operations. There is room for the diversity—the rise of thin-film technologies to take a larger market share. Research is needed for the next generations of PV so that those revolutionary technologies (some of which we have not yet explored) are ready for our next generations of consumers. We have more to do—but we have already gone beyond the tipping point as a significant electricity resource.

III. Conclusions

"The future of solar energy" is happening now. Solar technologies are penetrating our world electricity generation. Its costs are coming down and gained acceptance. It is part of the energy planning of our planet. And this is the world that many of our science and engineering innovators have been seeking.

Figure 16 shows two such visionaries from the early part of the 20th century—Thomas Edison and Charles Proteus Steinmetz [25]. Both envisioned the energy from the sun our best energy source.Or as Edison wrote: "I'd put my money on the sun and solar energy What a source of power! I hope we don't have to wait until oil and coal run out before we tackle that!". **We don't have to wait.**

Figura 16. Thomas Edison (left) and Charles Proteus Steinmetz working in the General Electric Laboratories in the early 1900s. Both proved to be not only technology innovators but also visionaries for the potential of solar energy.

IV. Referências Bibliográficas

[1] Solteris A. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems (Academic Press; New York; 2013).

[2] For descriptions of the “burning of the Roman fleet using mirrors at Syracurse, see: http://www.math.nyu.edu /~crorres/Archimedes/Mirrors/Tzetzes.html

[3] Augustin Mouchot: http://www.math.nyu.edu/~crorres/ Archimedes/Mirrors/Tzetzes.html

[4] C. Silvi, “The pioneering work on linear Fresnel reflector concentrators (LFCs) in Italy”: http://www.gses.it/pub/ silvi-fresnel.pdf

[5] C. Silvi, “The work of Italian Solar Energy Pioneer Giovanni Francia (1911-1980): https://www.researchgate .net/publication/228422322_The_Work_of_Italian_Solar_Energy_Pioneer_Giovanni_Francia_1911-1980

[6] Solar One: http://www.cspworld.org/cspworldmap/solar-one-solar-two

[7] SEGS: http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project _detail.cfm/projectID=28

[8] M.M. Hand, et al., Renewable Energy Futures Study, NREL, Golden, Colorado (NREL/TP-6A20-52409) http://www.nrel.gov/analysis/re_futures/

[9] See, for example, http://www.seriius.org/multiscale_ csp.html

[10] See, for example: http://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-csp.pdf

[11] See, DOE Sunshot: http://www.nrel.gov/csp/solar paces/project_detail.cfm/projectID=28

[12] B. Mattson, The Solar Phoenix (Robertson Publ; 2014). http://www.thesolarphoenix.com

[13] R. Williams, "Becquerel Photovoltaic Effect in Binary Compounds". *The Journal of Chemical Physics*. **32** (5) 1505-1514 (1960).

[14] L.L. Kazmerski, "The Bell Telephone Laboratories Discovery: Ushering In Our Modern Age Of Solar Photovoltaics,” in Photovoltaics for Sustainable Electricity and Buidlings (A. Sayigh, Ed.) (Springer, New York; 2016).

[15] Vanguard: See, for example: https://www.nrl.navy.mil/ vanguard50/legacy.php

[16] For latest version of NREL PV Research Cell Efficiency Chart: http://www.nrel.gov/pv/assets/images/effici ency _chart.jpg

[17] Paula Mints at: http://www.spvmarketresearch.com

[18] www.SunPower.com

[19]http://business.panasonic.com/products-hvac-solarpanels

[20] http://www.csembrasil.com.br

[21] M. Graetzel, http://lpi.epfl.ch/graetzel

[22] Z. Song et al., Pathways toward high-performance perovskite solar cells: review of recent advances in organo-metal halide perovskites for photovoltaic applications,” J. Photonics for Energy, 6(2, 022001 (2016).

[23] Nehru Solar Mission: http://www.downtoearth.org.in /news/modi-government-sets-revised-solar-mission-target-at-100-gw-50236

[24] China: http://www.pv-magazine.com/news/details/ beitrag/china-aims-for-150-gw-of-solar-pv-by-2020_100021548/#axzz4Rbsv4uod

[25]http://www.nytimes.com/2007/06/03/magazine/03wwln-essay-t.html

V. COPYRIGHT

Impactos Ambientais de Usinas Heliotérmicas

W. R. Ferreira[1], W. P. Barbosa Filho[2], L. M. L. Silva[3], A. C. S. Azevedo[4]

Resumo – **A energia solar e suas diversas formas de aproveitamento tem se configurado no cenário contemporâneo mundial como uma importante alternativa às fontes convencionais de geração de energia elétrica, isso diante de um contexto de aceleração iminente dos processos de mudanças climáticas e, pois, da necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa em todos os setores, incluindo o setor energético. Este artigo apresenta, dentro desta perspectiva, o estado da arte de uma das rotas tecnológicas que têm ganhado espaço nas discussões técnico-científicas: as usinas heliotérmicas. O escopo desse artigo é analisar alternativas dentro de um contexto de desenvolvimento sustentável, para a implantação de usinas de geração elétrica por meio de fonte heliotérmica. Todavia não se pode negligenciar os impactos ambientais que estão atrelados a este tipo de aproveitamento energético. É preciso, pois, conhecer e avaliar tais impactos de forma ampla e sistematizada, de modo a minimizá-los ou atenuá-los, reduzindo o ônus ambiental, social e econômico, buscando assim maior sustentabilidade nos processos de desenvolvimento e manutenção da humanidade na Terra..**

Palavras-chave – **Energia solar, heliotérmica, CSP**

I. Introdução

Todo sistema energético precisa de unidades de geração de energia confiáveis e flexíveis, devido ao fato de que a energia elétrica deve ser consumida quando é produzida. No caso de usinas heliotérmicas – CSP, tais unidades são diretamente controladas por um operador e são denominadas como unidades de geração de energia "despacháveis". Sistemas de armazenamento de energia adicionais apoiam a rede elétrica, fornecendo a possibilidade de mudança de “tipo de energia” ao longo do tempo. Com um aumento da quota de unidades de geração de energia não despacháveis (como parques eólicos ou centrais hidrelétricas sem reservatório) a importância de um sistemas de armazenamento aumenta. A possibilidade de implementar um sistema de armazenagem térmica é uma das principais vantagens das usinas solares heliotérmicas. Os principais componentes dessas usinas, de certa forma, são padronizados, independente da tecnologia utilizada: um conjunto de espelhos é usado para concentrar a irradiação direta do sol em um sistema de recepção, onde um fluido é aquecido e o calor é transferido para um fluido de trabalho que é utilizado para acionar uma turbina para produzir eletricidade. Existem quatro configurações diferentes dos coletores de concentração solar: torre solar, calha parabólica, linear Fresnel e disco parabólico, que diferem entre si em relação às estruturas físicas, o formato e dimensões dos espelhos, a movimentação em relação ao sol e, também, em relação à temperatura atingida pelo fluido de trabalho após o aquecimento.

O uso da energia solar, em suas diversas formas de aproveitamento, apresenta-se no cenário energético mundial como uma importante alternativa às fontes convencionais de geração de energia elétrica, mormente quando relacionada às perspectivas da aceleração dos processos de mudanças climáticas iminentes e à necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa do setor energético. Todavia não se pode negligenciar os impactos ambientais que estão atrelados a este tipo de aproveitamento energético, que podem ser evidentes ou potenciais e de caráter temporal ou permanente, conforme os diversos processos de implantação de um empreendimento de geração por fonte solar, onde se destacam, para efeito deste estudo, as usinas heliotérmicas. É preciso, pois, avaliar tais impactos de forma ampla e sistematizada, de modo a minimizá-los ou atenuá-los.

II. Estado da Arte das Usinas Heliotérmicas

A tecnologia heliotérmica, ou CSP, é uma forma de aproveitamento da energia solar para geração de energia elétrica. Este tipo de tecnologia utiliza superfícies refletoras que concentram a radiação solar em um receptor. Neste receptor circula um fluido de trabalho, geralmente óleo sintético ou sal fundido, que executa um ciclo termodinâmico, usualmente Rankine ou Brayton (DUNHAM & IVERSON, 2014), cujo objetivo é ativar de forma mecânica uma turbina, assim gerando energia elétrica. As primeiras plantas CSP foram as SEGS (*Solar Energy Generating Systems*), um conjunto de nove plantas situadas no estado da Califórnia, sudoeste dos EUA. Juntas essas plantas somavam uma capacidade de 354 MW (PY, et al., 2013). Em 2016, vinte e um países, dentre cento e noventa e um que são reconhecidos pela ONU, possuíam plantas do tipo CSP, sendo noventa e seis em opera-

W. R. Ferreira
wemerson.ferreira@meioambiente.mg.gov.br
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
DIPA – Diretoria de Instrumentos de gestão e Planejamento Ambiental
Belo Horizonte, Brazil.
W. P. Barbosa Filho
wilson.filho@meioambiente.mg.gov.br
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
DIPA – Diretoria de Instrumentos de gestão e Planejamento Ambiental
Belo Horizonte, Brazil.
L. M. L. Silva
livia.leite@meioambiente.mg.gov.br
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
DIPA – Diretoria de Instrumentos de gestão e Planejamento Ambiental
Belo Horizonte, Brazil.
A. C. S. Azevedo
abilio.azevedo@meioambiente.mg.gov.br
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
DIPA – Diretoria de Instrumentos de gestão e Planejamento Ambiental
Belo Horizonte, Brazil.

ção, dezoito em construção, onze em desenvolvimento, totalizando cento e vinte e cinco projetos, e mais três instalações não operacionais ou descomissionadas (NREL, 2016). Dados da CSPWorld demonstram que, em junho de 2016 havia 181 empreendimentos no total, espalhados pelo mundo (Tabela 1e Figura 1).

Tabela 1 - Usinas Heliotérmicas no Mundo

País	*Quantidade de Absoluta de Usinas (Unidade)*	*Quantidade Relativa de Usinas (%)*	*Potência Instalada Absoluta (MW)*	*Potência Instalada Relativa (%)*
África do Sul	11	6,08%	630,33	4,29%
Argélia	1	0,55%	25,00	0,17%
Argentina	1	0,55%	20,00	0,14%
Austrália	7	3,87%	383,00	2,61%
Brasil	1	0,55%	50,00	0,34%
Canadá	2	1,10%	1,00	0,01%
Chile	7	3,87%	990,00	6,74%
China	8	4,42%	502,00	3,42%
Chipre	2	1,10%	75,76	0,52%
Egito	3	1,66%	370,00	2,52%
Espanha	53	29,28%	2.405,90	16,38%
EUA	36	19,89%	4.820,50	32,83%
França	2	1,10%	21,00	0,14%
Grécia	1	0,55%	75,00	0,51%
Índia	11	6,08%	605,00	4,12%
Irã	1	0,55%	17,00	0,12%
Israel	5	2,76%	422,00	2,87%
Itália	6	3,31%	280,00	1,91%
Japão	1	0,55%	-	0,00%
Jordânia	5	2,76%	225,00	1,53%
Kuwait	1	0,55%	60,00	0,41%
Líbano	2	1,10%	52,80	0,36%
Marrocos	4	2,21%	480,00	3,27%
México	2	1,10%	14,00	0,10%
Omã	1	0,55%	-	0,00%
Papua Nova Guiné	1	0,55%	-	0,00%
Tailândia	1	0,55%	5,00	0,03%
Tunísia	3	1,66%	2.055,00	13,99%
UAE	2	1,10%	100,00	0,68%
Total	181	100,00%	14.685,29	100,00%

Fonte: Adaptado de (CSPWord, 2016)

A expansão mundial de sistemas CSP é claramente liderada pelos EUA e pela Espanha, mas também está presente na Argélia, Austrália, Egito, Emirados Árabes Unidos, França, Marrocos, entre outros (BURGI, 2013), inclusive o Brasil, o que tem estimulado questionamentos quanto ao papel que a energia solar térmica pode vir a exercer nas próximas décadas no setor energético mundial, como forma de contribuir para atender a expansão da demanda por energia elétrica, e também como mais uma alternativa de uso de fonte renovável que contribua no combate às mudanças climáticas globais.

Os coletores solares são tipos de trocadores de calor que têm por finalidade transformar a radiação solar incidente em calor. Ou seja, o coletor capta a radiação solar, a converte em calor, e transfere esse calor para um fluido, que pode ser ar, água, óleo (DUFFIE & BECKMAN, 2006) ou sais fundidos.

Os coletores podem ser basicamente de dois tipos: não-concentradores e concentradores. Os coletores não concentradores possuem a mesma área de abertura (área para interceptação e absorção da radiação) e são aplicáveis para sistemas que necessitem de baixa temperatura. Em aplicações que demandem temperaturas mais elevadas, são mais adequados os concentradores solares, que possuem em geral uma superfície refletora (em alguns modelos são utilizadas lentes) que direcionam a radiação direta a um foco, onde há um receptor pelo qual escoa o fluido absorvedor de calor (BURGI, 2013). Outra característica, ainda, é que podem ser estacionários ou rastreadores. Dentre os rastreadores, os coletores podem rastrear em um eixo ou em dois eixos.

As tecnologias de concentração solar apresentam diversas vantagens, sendo capazes de atender a diferentes aplicações e condições.

A principal vantagem da energia elétrica gerada pelas tecnologias heliotérmicas é o fato de apresentarem rendimentos mais elevados em comparação com a tecnologia fotovoltaica, inclusive face à tecnologia fotovoltaica de concentração (CPV - *Concentrated Photo Voltaic*) (ALMEIDA, 2013).

Existem quatro configurações diferentes dos coletores de concentração solar:

- Torre solar;
- Canal parabólico;
- Linear Fresnel; e
- Disco parabólico.

Das usinas heliotérmicas já implantadas no mundo, temos o seguinte agrupamento, conforme as diversas configurações:

Tabela 2 - Distribuição de usinas heliotérmicas por rota tecnológica

Tecnologia	*Quantidade de empreendimentos (Unidades)*	*Potência instalada total (MW)*	*Potência Média (MW)*
Torre solar	32	6.351,00	204,87
Calha parabólica	120	7.107,30	64,61
Disco parabólico Stirling	7	229,26	32,75
Linear Fresnel	15	622,73	44,48
Não Declarado	7	375,00	53,57
Total	**181**	**14.685,29**	**80,06**

Fonte: Adaptado de (CSPWord, 2016)

Figura 1 - Distribuição relativa de usinas heliotérmicas pelo Mundo.
Fonte: Adaptado de (CSPWord, 2016)
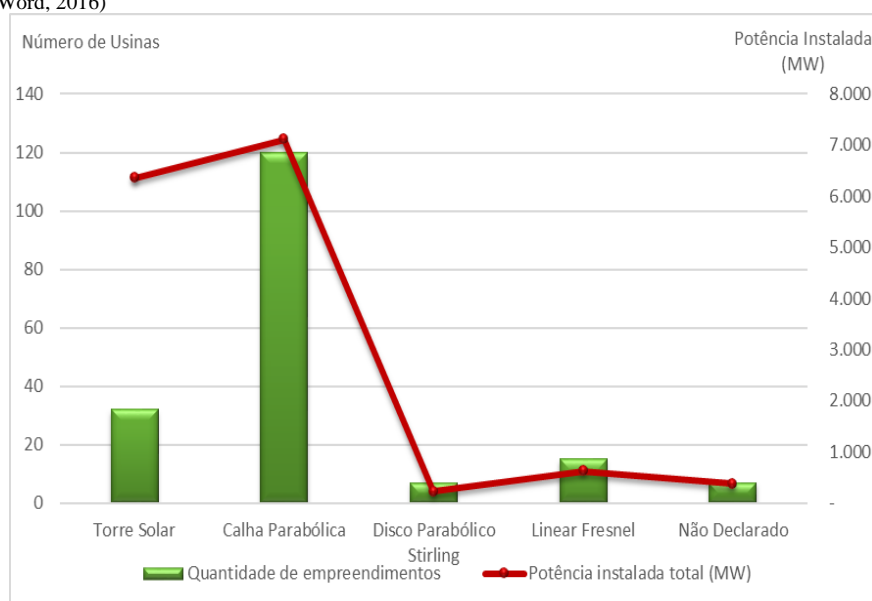
Figura 2 - Distribuição de quantidade de usinas e Potência Instalada de Heliotérmicas por Rota Tecnológica
Fonte: Adaptado de (CSPWord, 2016)

Esses quatro tipos de CSP diferem entre si em relação às estruturas físicas, o formato e dimensões dos espelhos, a movimentação em relação ao sol e, também, em relação à temperatura atingida pelo fluido de trabalho após o aquecimento. Os sistemas de concentração solar das heliotérmicas diferem em termos de demanda por área de operação: os sistemas de canal parabólico ocupam uma área de aproximadamente 38.444 m²/MW, os sistemas de torre solar e disco parabólico ocupam cerca de 40.468 m²/MW e os sistemas tipo linear Fresnel ocupam 19.020 m²/MW (MARANHÃO, 2014).

Os sistemas de torre solar utilizam um campo circular (360º) ou semicircular (180º) de espelhos de grandes dimensões chamados heliostatos, que realizam um seguimento individual do sol, por meio de rastreamento a dois eixos, concentrando a radiação solar num receptor central montado no topo de uma torre, cujo foco é pontual (MALAGUETA, 2013). Os heliostatos são compostos por uma superfície refletora, geralmente quatro espelhos cuja área refletora total pode variar de 50 a 150 m^2, além de um suporte estrutural e um mecanismo de rastreamento solar (KALOGIROU, 2009). Nessa tecnologia, são utilizadas três possibilidades de fluidos de trabalho, a saber (KALOGIROU, 2009):

- Sais fundidos, para transferência de calor;
- Vapor de água, para operação de uma turbina de ciclo Rankine; e
- Ar, para operação de uma turbina de ciclo Brayton (gás) ou combinado.

O calor concentrado, com taxas de concentração que variam entre 300°C e 1500°C, é absorvido no receptor e transferido para um fluido em circulação que pode ser utilizado diretamente para produzir trabalho ou mesmo ser armazenado (KALOGIROU, 2009). A faixa de capacidade indicada para este tipo de tecnologia CSP é de 10 – 150 MW, alcançando temperaturas de 150°C a 2000°C (KALOGIROU, 2009).

Nos sistemas de cilindro parabólico (canal parabólico) utilizam-se espelhos refletores, ou são revestidos por material

refletor, em formato parabólico para concentrar a radiação solar num tubo receptor situado na linha focal da estrutura parabólica. As matrizes de espelhos podem ser de 100 m de comprimento ou mais, com a abertura curvada de 5 a 6 m (IRENA, 2012). Estes sistemas são instalados seguindo um eixo Norte-Sul e, comumente, efetuam o rastreio solar seguindo a direção Leste-Oeste (SILVA, 2011). A base da estrutura possui um motor que possibilita o movimento automático de rastreio solar. O elemento coletor de calor é formado por um tubo metálico preto situado no foco da parábola. Este tubo é recoberto por um duto de vidro concêntrico, estabelecendo vácuo no espaço entre eles, o que reduz as perdas de calor por convecção para a atmosfera (MALAGUETA, 2013) & (FILHO, 2013).

O funcionamento das heliotérmicas de canal parabólico é similar ao funcionamento das centrais de torre solar. Quando a parábola aponta em direção ao sol, os raios diretos do sol são refletidos pela superfície e concentrados no receptor (MALAGUETA, 2013). A radiação concentrada aquece o fluido de trabalho que circula internamente nos tubos receptores e é direcionado para um trocador de calor. O fluido, que chega a temperaturas na faixa de 60ºC a 400°C (MALAGUETA, 2013), passa por um processo de troca de calor com a água, que evapora (MARANHÃO, 2014). O vapor é então direcionado para uma turbina, que movimenta o conjunto gerador de energia elétrica. A eletricidade produzida passa a um transformador de tensão e é inserida, enfim, na rede elétrica. Como se trata de um ciclo Rankine, há ainda necessidade de condensar o vapor que já passou pela turbina para que este seja reintroduzido no ciclo. Essa condensação se dá por um processo de resfriamento a água ou a ar, ou ainda por reforma híbrida (MARANHÃO, 2014). O líquido de transferência de calor é geralmente um óleo sintético, que circula dentro do tubo metálico do elemento coletor de calor (MARANHÃO, 2014). Assim, tem-se que os sistemas solares integrados com ciclo combinado (*Integrated Solar Combined Cycle Systems* - ISCCS) aplicam o calor gerado pelos coletores solares como um tipo de suplemento ao calor desperdiçado na turbina a gás, com o intuito de provocar um incremento na capacidade produtiva de vapor no ciclo Rankine (ALMEIDA, 2013).

Os refletores do tipo linear Fresnel são constituídos por um conjunto de espelhos planos dispostos em filas direcionando a radiação solar para um tubo receptor situado acima dos espelhos. Estes tubos receptores são fixados à estrutura e situam-se dentro de uma estrutura de três faces que não permite passagem de radiação solar, de forma que os raios solares refletidos pelos espelhos entrem somente pela face aberta (SILVA, 2011). O funcionamento de uma central heliotérmica com refletores lineares Fresnel é semelhante ao funcionamento das heliotérmicas do tipo torre solar e canal parabólico (MARANHÃO, 2014). O fluido de trabalho desses sistemas é geralmente água, que recebe calor dos refletores e vaporiza-se. O vapor aciona o conjunto turbina-gerador, gerando energia elétrica. Os vapores de saída da turbina são condensados e redirecionados para os refletores, iniciando um novo ciclo (MARANHÃO, 2014).

Os sistemas lineares Fresnel são capazes de gerar vapor diretamente nos receptores de radiação solar, dispensando a utilização dos trocadores de calor e de um fluido de trabalho. Assim como os sistemas de torre solar, os refletores lineares Fresnel podem também operar de forma híbrida e possuir um sistema de armazenamento térmico. As temperaturas do fluido de trabalho podem chegar a 370°C dentro das linhas de aquecimento. Os espelhos refletores efetuam o seguimento solar a um eixo, acompanhando a movimentação do sol no sentido Leste-Oeste (MARANHÃO, 2014).

Um refletor parabólico em forma de disco é montado em uma estrutura que efetua o seguimento solar em dois eixos e concentra os raios solares num receptor situado no foco do espelho. A estrutura dos coletores solares e o receptor movem-se juntos na medida em que o conjunto se movimenta durante o rastreio solar. A energia solar refletida pelo Disco Parabólico é absorvida no receptor situado no foco do refletor parabólico, aquecendo o fluido de trabalho à temperatura próxima de 800°C. Tal sistema tem acoplado ao receptor um motor que opera segundo do ciclo termodinâmico de Stirling associado a um gerador, produzindo energia elétrica em consumir água. Este conjunto é conhecido como unidade de conversão de energia. O receptor utiliza como fluido de trabalho o hidrogênio ou o hélio (SILVA, 2011). Os motores Stirling operam com o aquecimento e resfriamento de um gás ininterruptamente, movimentando um pistão. Esse tipo de sistema permite a conversão de até 30% da energia irradiante em energia elétrica, cuja potência no sistema gerador pode variar de 5 a 50 kW (DIENSTMANN, 2009). Existem dois tipos de motores Stirling: cinemático e pistão livre. Os motores cinemáticos trabalham com o hidrogênio como fluido de trabalho e têm maiores eficiências do que os motores de pistão livre. Os motores de pistão livre têm o hélio como fluido de trabalho e não produzem atrito durante a operação, o que permite a redução na manutenção requerida pelo equipamento (IRENA, 2012).

III. ARMAZENAMENTO TÉRMICO

A faixa de temperatura de operação é um parâmetro muito importante para os sistemas de armazenamento térmico. Esta temperatura depende do material/meio de armazenamento e dos limites de temperatura do fluido de trabalho de transferência de calor. Quanto maior a faixa de temperatura, maior a capacidade de armazenamento e a eficiência do bloco de potência. As faixas de temperatura dos principais materiais usados na indústria heliotérmica estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Faixas de temperatura de materiais usados para armazenamento térmico em heliotérmicas.

Meio	*Limite de Baixa Temperatura (°C)*	*Limite de Alta Temperatura (°C)*	*Densidade Média (kg/m³)*
Óleo mineral	200	300	770
Óleo térmico sintético	180	410	900
Sais de nitrato	265	565	1870
Cerâmicas	-	900	2000

Fonte: (IBICT, 2014)

Os sistemas de armazenamento térmico contribuem positivamente com o incremento da produção de energia elétrica em uma central heliotérmica. O armazenamento térmico tem como função possibilitar a produção de eletricidade nas horas que não há irradiação solar e, também, permitir que haja um despacho mais constante de energia na rede elétrica, inclusive durante o pico de demanda (MARANHÃO, 2014). Um exemplo pode ser observado na Figura 3.
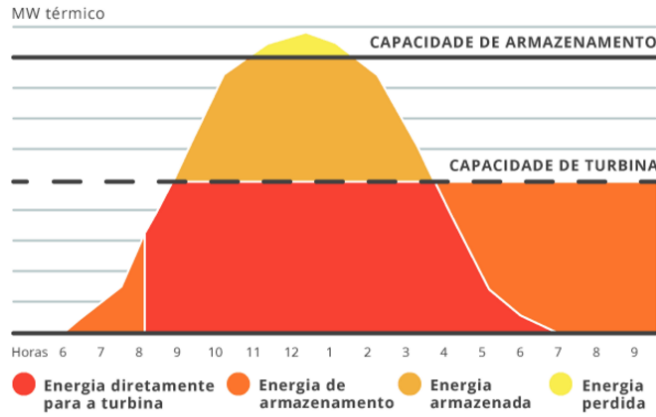
Figura 3 - Produção de energia com armazenamento térmico (dia ensolarado).
Fonte: (IBICT, 2014).

A evolução dos sistemas de armazenamento térmico permitiu que sua capacidade aumentasse de 1 para 7,5 horas, tempo suficiente para garantir o funcionamento da central heliotérmica durante a noite (GREENPEACE, 2013).

Na Tabela 4 é apresentado um resumo das características performáticas das quatro rotas tecnológicas de heliotérmicas.

Plantas comerciais de sistemas de canal parabólico, que já estão em operação, têm capacidade de geração de 14 a 80 MWe. Tais sistemas atingem uma temperatura máxima de trabalho de 390°C, sendo limitada pela degradação térmica do óleo sintético utilizado como fluido de transferência de calor (fluido de trabalho). A eficiência, que é a razão entre a energia elétrica gerada e a energia térmica solar de entrada, é de cerca de 14 a 16%, tendo ainda o fator de capacidade na ordem de 25 a 30%, dependendo da localização (IRENA, 2013).

Algumas plantas de canal parabólico e de torre solar têm sistemas de armazenamento térmico com base em sal fundido, com capacidade de armazenamento de 6 a 15 horas, aumentando os fatores de capacidade da planta para mais de 40% e 70%, respectivamente. A experiência operacional sugere que as plantas de canal parabólico têm uma vida útil de mais de 30 anos. Nas plantas de torre solar, vapor e gases comprimidos também podem ser usados como fluidos alternativos para a transferência de calor (IRENA, 2013).

Tabela 4 - Performance das tecnologias CSP

	Canal Parabólico			**Torre Solar**			**Refletor Fresnel**	**Disco Parabólico**
Armazenamento	não	sim	sim	não/sim	não/sim	sim	não	não
Status	comercial	comercial	testes	testes	comercial	testes	testes	testes
Capacidade (MW)	15-80	50-280	5	10-20	50-370	20	5-30	0,025
Fluido de trabalho	óleo	óleo	sal	vapor	vapor	sal	vapor saturado	n.a.
Temperatura do fluido de trabalho(°C)	390	390	550	250	565	565	250	750
Fluido de armazenamento	não	sal	sal	vapor	n.a.	sal	não	não
Armazenamento (horas)	0	7	6-8	0,5-1	n.a.	15	0	0
Temperatura de Armazenamento (°C)	n.a.	380	550	250	n.a.	550	n.a.	n.a.
Eficiência de conversão (%)	14	14	14/16	14	16	15/19	11/13	25/30
Fator de Capacidade (%)	25-28	29-43	29-43	25-28	25-28	55-70	22-24	25-28
Eficiência ótica	alta	alta	alta	média	média	alta	baixa	muito alta
Área (ha/MW)	2	2	2	2	2	2	2	n.a.
Ciclo termodinâmico	vapor superaquecido	vapor superaquecido	vapor superaquecido	vapor saturado	vapor superaquecido	vapor superaquecido	vapor saturado	n.a.
Temperatura do ciclo (°C)	380	380	540	250	540	540	250	n.a.

Fonte: (IRENA, 2013)

IV. Identificação dos Potenciais Impactos Ambientais

O meio ambiente é entendido por Guerra e Cunha (1996) como o espaço de caráter dinâmico, organizado segundo as relações homem/natureza de acordo com cada contexto histórico (GUERRA & CUNHA, 2011). Baseando-se nesta definição, e conforme a situação de degradação ambiental e mudanças climáticas notadas nas últimas décadas é fato que, se faz necessária uma gestão dos recursos ambientais mais efetiva. Assim, a Agenda 21 dá entendimentos de que a gestão dos recursos ambientais se trata de uma particularidade da gestão ambiental, em que há uma especial preocupação com relação ao conjunto de princípios, estratégias e diretrizes de ações determinadas e conceituadas pelos agentes socioeconômicos, públicos e privados, que interagem no processo de uso dos recursos ambientais, garantindo-lhes sustentabilidade (ONU, 1992).

O uso da energia solar, em suas diversas formas de aproveitamento, apresenta-se no cenário energético mundial como uma importante alternativa às fontes convencionais de geração de energia elétrica. Tal fato ganha importância quando relacionado às perspectivas da aceleração dos processos de mudanças climáticas iminentes e à necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa pelo setor energético. Todavia não se podem negligenciar os impactos ambientais que estão atrelados a este tipo de aproveitamento energético. Tais impactos podem ser evidentes ou potenciais e de caráter temporal ou permanente, conforme os diversos processos de implantação de um empreendimento de geração por fonte solar, onde se destacam, para efeito deste estudo, as usinas heliotérmicas. É preciso, pois, avaliar tais impactos de forma ampla e sistematizada, de modo a minimizá-los ou atenuá-los.

Os procedimentos de licenciamento ambiental para usinas fotovoltaicas de grande escala e plantas heliotérmicas são comparáveis. Nestes casos, uma "Avaliação do Impacto Ambiental" positiva é sempre pré-condição para a aprovação de uma planta. Visto que muitas autoridades e partes interessadas diferentes estão envolvidas em questões ambientais, a permissão é um esforço demorado, mas essencial. Devido ao baixo impacto das usinas de energia solar sobre o ecossistema, em comparação com outros grandes projetos de infraestrutura energética, esses empreendimentos de energias renováveis são geralmente aprovados sem grandes problemas.

C. Impactos sobre o meio físico

Em uma usina heliotérmica, desde seu processo de construção até sua permanência, há diversos impactos no meio físico local, pois há modificações paisagísticas e muita movimentação de recursos humanos, maquinário, equipamentos e materiais que não compõem o meio onde o empreendimento será alocado. Os impactos mais expressivos no meio físico estão descritos na Tabela 5.

Vale destacar-se os dois impactos sobre o meio físico que são mais relevantes nas discussões técnicas-ambientais. São eles a ocupação do solo e o uso da água.

Tabela 5 - Impactos Ambientais sobre o Meio Físico

Meio	Impacto
Físico	• Ocupação do terreno • Alteração e/ou degradação da paisagem • Emissão de ruídos e alteração sonora • Geração de resíduos sólidos e riscos de contaminação do solo • Geração de poeiras/gases e alterações na qualidade do ar • Aceleração de processos de deterioração de estradas e vias de acesso • Consumo de água • Geração ou acirramento de processos erosivos e alterações do comportamento hídrico e do fluxo hidrológico superficial • Alterações morfológicas e instabilidade temporária da superfície

Fonte: (FEAM, 2016)

É mister indicar o impacto da ocupação física de grandes porções de terra, visto que as usinas heliotérmicas necessitam de uma área extensa e relativamente plana, muitas vezes é preciso realizar terraplenagem e, remoção de componentes morfológicos e biológicos da região. As áreas mais adequadas para a instalação deste tipo de empreendimento de geração de energia são aquelas que apresentam altos índices de incidência de radiação solar durante o ano inteiro, geralmente apresentando baixa densidade de vegetação e características de clima árido ou semiárido (IBICT, 2015). Contudo, o tamanho e características do terreno variam de acordo com a tecnologia heliotérmica utilizada (MARANHÃO, 2014), conforme pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Cálculo do uso da terra por tecnologia heliotérmica das plantas em operação no mundo.

Tecnologia	Área Específica (ha/MW)		
	Mínima	**Máxima**	**Média**
Calha parabólica	2	6	3
Torre solar	4	11	5
Disco solar	4	4	4
Refletor Fresnel	1	4	2

Fonte: (PEREIRA, et al., 2014).

Com relação ao consumo de água, destaca-se sua importância visto que esta é utilizada para gerar vapor, limpar os espelhos e refrigerar a usina. A água utilizada deve ser tratada ou de qualidade elevada, e é necessária para o processo de resfriamento das diferentes plantas, para geração de vapor de processo e para a lavagem dos espelhos (DOE US, 2006). Sabe-se, contudo, conforme apresentado por Carter e Campbell (2009), que a maior parte da água é consumida para o resfriamento, e somente pequena parcela para a lavagem dos espelhos (CARTER & CAMPBELL, 2009). Porém, em áreas favoráveis às usinas heliotérmicas, a água muitas vezes é escassa. Nestes casos, quando as áreas de implantação estão distantes de fontes de água para atender suas demandas, um fator agravante é captar e fornecer água de fontes mais distantes, bem como purificar a água para o resfriamento dos sistemas, podendo aumentar a complexidade e os custos da usina (CARTER & CAMPBELL, 2009). Por isso, pesquisa-

dores já estudam novas formas de aproveitamento mais eficiente desse recurso. Para realizar a limpeza dos espelhos, minimizando o volume da água demandada, pode-se, por exemplo, utilizar-se de robôs ou equipamentos de precisão.

Para a refrigeração do ciclo água/vapor, onde ocorre o maior consumo de água, podem ser utilizadas torres de resfriamento secas (condensadores a ar), reduzindo o consumo hídrico em mais de 90%; no entanto, essa tecnologia é mais cara e reduz a eficiência da usina (MARANHÃO, 2014). As diferenças no consumo de água entre as tecnologias CSP são:

- Torre solar: tem sistema de resfriamento híbrido, utilizando 21% do volume consumido no sistema de resfriamento a água (WCC - *Water-cooled Condenser*). Quando o sistema de resfriamento é a ar (ACC - *Air-cooled Condenser*), o volume de água consumido é de apenas 3,24% do volume consumido no sistema WCC.
- Cilindro ou canal parabólico: o volume de água consumido no sistema de resfriamento híbrido é 25,25% do volume de água consumido nos sistemas WCC. O sistema do tipo ACC consome 6,84% do volume de água consumido pelo sistema WCC.
- Refletor linear Fresnel: é a que consome maior volume de água (3785,41 L/MWh). Nesse tipo de sistema de concentração solar, o fluido de trabalho é a água, que movimenta diretamente a turbina com os vapores gerados pelos concentradores solares, dispensando o uso de trocadores de calor. Além de ser fluido de trabalho, a água também é usada para limpeza e manutenção dos espelhos.
- Disco parabólico (Stirling): necessitam de água apenas para limpeza e manutenção de espelhos, já que seus motores operam segundo o ciclo Stirling.

Tabela 7 - Consumo de água em heliotérmicas.

Sistema de resfriamento	Tipo de concentrador solar	Volume de água consumida (L/MWh)		
		Mínimo	Máximo	Médio
Água	Canal Parabólico	2.744,42	4.001,18	3.372,80
	Torre Solar	2.801,20	3.255,45	3.028,33
	Linear Fresnel	3.785,41	3.785,41	3.785,41
Ar	Canal Parabólico	162,77	299,05	230,91
	Torre Solar	98,42	98,42	98,42
Híbrido	Canal Parabólico	397,47	1.305,97	851,72
	Torre Solar	340,69	946,35	643,52
Sem sistema de resfriamento	Disco Parabólico	15,14	22,71	18,93

Fonte: (MACKNICK & al., 2011).

D. Impactos sobre o meio biótico

Os processos biológicos são dinâmicos, e alterações causadas tanto pelas ações antrópicas quanto as de caráter natural ocorrem de maneira contínua, considerando-se a interdependência entre o bem-estar humano e o ambiente ecologicamente equilibrado. Contudo, a construção de uma usina heliotérmica pode provocar impactos consideráveis nos ecossistemas locais, modificando os ciclos de desenvolvimento da fauna e da flora local, tanto durante a fase de construção quanto durante a permanência do empreendimento ou sua exploração. Os impactos mais expressivos no meio biótico estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Impactos Ambientais sobre o Meio Biótico

Meio	Impacto
Biótico	• Perda de cobertura vegetal • Fragmentação de habitats • Alteração da dinâmica dos ecossistemas locais • Afugentamento e fuga da fauna local • Desequilíbrio de elos tróficos de cadeias alimentares locais • Diminuição de potencial ecológico (atributos ambientais e biodiversidade) • Riscos de acidentes com animais ou causados por animais

Fonte: (FEAM, 2016)

Quanto aos impactos sobre o meio biótico, merece destaque, devido ao nível de discussões nos ciclos técnicos-ambientais, os potenciais acidentes envolvendo animais. Um impacto identificado especificamente em usinas de torre solar é a mortandade de aves por queimaduras ou chamuscamento de suas penas. Conforme observado em instalações espalhadas pelo mundo, muitas aves não desviam o curso de voo ao se depararem com usinas heliotérmicas de torre central. Desta forma, há a possibilidade de ocorrerem queimaduras e chamuscamento de suas penas ao passar por regiões onde a concentração solar é elevada, impossibilitando o voo. Todavia, já há estudos sobre este comportamento, bem como trabalhos e projetos para o desenvolvimento de ferramentas para afugentar as aves dessas regiões. Dentre as possibilidades já levantadas estão: a emissão de sinais acústicos que imitem os sons dos predadores naturais dessas aves, bem como mecanismos de emissão de odores e utilização de luzes LED para afastar as aves. O Relatório Anual do Plano de Monitoramento de Aves e Morcegos, realizado pela *HT Harvey and Associates* demonstra, ao contrário do especulado, um cenário mais ameno quanto à quantidade de aves mortas (HTHA, 2015).

E. Impactos sobre o meio socioeconômico

A inserção de uma planta CSP, em determinada localidade, traz consigo uma série de impactos ambientais sobre o meio socioeconômico, sendo alguns positivos e outros negativos, podendo abranger apenas o entorno do local do empreendimento ou mesmos regiões maiores, desde o processo de implantação até sua efetiva operação comercial. Os impactos mais expressivos no meio socioeconômico estão descritos na Tabela 9.

No agrupamento de impactos sobre o meio socioeconômico, destaca-se, por sua peculiaridade, o ofuscamento ocasionado à pilotos de aeronaves. A grande quantidade de espelhos, distribuída por extensas áreas, característica da constituição de usinas heliotérmicas, pode gerar algum tipo de ofuscamento em pilotos de aeronaves que, por ventura, venham trafegar em espaço aéreo sobre usinas CSP.

Tabela 9 - Impactos Ambientais sobre o Meio Socioeconômico

Meio	Impacto
Socioeconômico	• Alteração do perfil da população • Geração de expectativa na população local e tensão emocional • Geração de emprego e renda • Crescimento da economia local e aumento da arrecadação tributária • Desconforto ambiental • Ofuscamento de pilotos de aeronaves • Riscos ao patrimônio arqueológico não manifesto • Aumento do fluxo de veículos • Crescimento do setor de serviços • Consumo de materiais • Aquisição de serviços especializados • Riscos de acidente de trabalho • Segurança operacional • Aumento da eficiência dos equipamentos • Aproveitamento de fonte de energia • Aumento da segurança e confiabilidade no setor energético da região

Fonte: (FEAM, 2016)

Há alguns relatos de reclamações de pilotos que sobrevoaram em espaço aéreo próximo da usina heliotérmica de *Ivanpah Solar Power Facility*, instalada no deserto de Mojave na Califórnia – EUA, a respeito de certo efeito de ofuscamento dentro das cabines (LVMCIA, 2014). Contudo, não foram encontrados estudos específicos sobre estes fatos. No entanto, há de ser observado que o reflexo disperso dos espelhos é bem semelhante àquele gerado em construções urbanas (fachadas, janelas, cúpulas, etc.), sendo pouco influente na redução do campo de visibilidade dos pilotos. É importante lembrar que os espelhos estão focados em um determinado ponto da usina, variando conforme a tecnologia utilizada, ou seja, a maior concentração de energia (térmica e luminosa) está neste ponto central. Deve-se cuidar, portanto, que o empreendimento esteja completamente de acordo com o projeto aprovado e que todos os espelhos estejam alinhados no ângulo correto, de modo a evitar desvios de foco que, eventualmente, poderiam causar algum risco à aviação. A tecnologia de Torre Solar é a mais propícia de causar este tipo de impacto.

V. Considerações Finais

Este estudo objetivou analisar alternativas, dentro de um contexto de desenvolvimento sustentável, para impulsionar a implantação de usinas de geração elétrica por meio de fonte heliotérmica no estado de Minas Gerais. Neste sentido, foram identificados potenciais, avanços tecnológicos, projeções, perspectivas, possíveis impactos ambientais positivos e negativos, bem como discussões relacionadas às questões de licenciamento ambiental deste tipo de empreendimento.

O processo heliotérmico basicamente consiste na reflexão dos raios solares utilizando um sistema de espelhos, que refletem os raios para um receptor de calor. A energia térmica produzida é transferida para um líquido que é utilizado para acionar um fluido de trabalho que movimenta uma turbina e aciona um gerador, produzindo, assim, energia elétrica, como em uma usina termelétrica convencional. A diferença é que, nesta última, o calor é obtido pela queima de combustíveis fósseis ou por fissão nuclear, enquanto numa usina heliotérmica, ele é obtido pela concentração dos raios solares. A usina solar heliotérmica tem a possibilidade de armazenar energia em forma de calor - diferente de outras usinas que sofrem com a intermitência - sendo possível, assim, gerar energia elétrica mesmo em dias nublados ou durante a noite.

Existem quatro configurações diferentes dos coletores de concentração solar: Torre Solar, Canal Parabólico, Linear Fresnel e Disco Parabólico, que diferem entre si em relação às estruturas físicas, o formato e dimensões dos espelhos, a movimentação em relação ao sol e, também, em relação à temperatura atingida pelo fluido de trabalho após o aquecimento.

O uso da energia solar, em suas diversas formas de aproveitamento, apresenta-se no cenário energético mundial como uma importante alternativa às fontes convencionais de geração de energia elétrica, mormente quando relacionada às perspectivas da aceleração dos processos de mudanças climáticas iminentes e à necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa do setor energético. Todavia não se pode negligenciar os impactos ambientais que estão atrelados a este tipo de aproveitamento energético, que podem ser evidentes ou potenciais e de caráter temporal ou permanente, conforme os diversos processos de implantação de um empreendimento de geração por fonte solar, onde se destacam, para efeito deste estudo, as usinas heliotérmicas. É preciso, pois, avaliar tais impactos de forma ampla e sistematizada, de modo a minimizá-los ou atenuá-los.

Os impactos ambientais resultantes da implantação de sistemas heliotérmicos dependem e se caracterizam conforme os arranjos e diferentes tecnologias com as quais se configuram. Tais impactos são correlatos em grande parte a aqueles provenientes de aproveitamentos solares fotovoltaicos de grande escala, estando estreitamente relacionados à sua localização, às características físico-climáticas do local de implantação e às características dos ecossistemas locais. É preciso, pois, avaliar tais impactos de forma ampla e sistematizada, de modo a minimizá-los ou atenuá-los.

VI. Referências

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY - DOE US. **Concentrating Solar Power Commercial Application Study: Reducing Water Consumption of Concentrating Solar Power Electricity Generation**. s.l.:DOE US. 2006.

LAS VEGAS MCCARRAN INTERNATIONAL AIRPORT - LVMCIA. **Letter re Pilot Complaints of Visual Impacts from Ivanpah Solar Electric Generating System**. s.l.:Aviation Safety Reporting System - ASRS. 2014.

ALMEIDA, G. S. M. **Pesquisa e Desenvolvimento de um Sistema Termoelétrico do tipo Linear Fresnel Reflector**. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis - Universidade Nova de Lisboa). Lisboa: Universidade Nova de Lisboa/Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2013.

BARBOSA, W. P. F. et al. **Expansão da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Impactos Ambientais e Políticas Públicas**. Conferência Internacional LINKS 2015.

BRASIL, Departamento de Estradas de Rodagem (DER) do Estado de São Paulo. **Manual Básico de Estradas e Rodovias** Vicinais. São Paulo: DER/SP. 2012.

BURGI**. Avaliação do potencial técnico de geração elétrica termossolar no Brasil a partir de modelagem em SIG e simulação de plantas virtuais**. Rio de Janeiro: PPE/COPPE/UFRJ. 2013.

CARTER, N. T. & CAMPBELL, R. J. **Water Issues of Concentrating Solar Power (CSP)** Electricity in the US Southwest. s.l.:Congressional Research Service. 2009.

CSPWord. CSP Worl Map. [Online] Disponível em: http://www.cspworld.org/cspworldmap. Acesso em 16 junho 2016.

DIENSTMANN, G. **Energia Solar: Uma comparação de tecnologias**.. Porto Alegre: Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

DUFFIE, J. A. & BECKMAN, W. A.**. Solar Engineering of Thermal Processes**. 3ª ed. Nova York: Wiley. 2006.

DUNHAM, M. T. & IVERSON, B. D. **High-efficiency thermodynamic power cycles for concentrated solar power systems**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, fevereiro, Volume 30, p. 758–770. 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Estudos técnicos visando o licenciamento ambiental de usinas solares heliotérmicas no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM. 2016.

FILHO, V. C. P.. **Análise experimental de um sistema solar com concentrador cilindro parabólico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica - UFSC). Florianópolis: UFSC. 2013

GREENPEACE. **Revolução energética: A caminho do desenvolvimento limpo**. s.l.:GREENPEACE. 2013

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B.. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2011.

H.T. HARVEY & ASSOCIATES - HTHA. **Ivanpah Solar Electric Generating System Avian & Bat Monitoring Plan - 2013-2014** Annual Report (Revised). Fresno: California Energy Commission. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT. **Thermal storage CSP technology - State of the art and market overview**. Brasília: MCTI - Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT, 2015. Análise do artigo publicado pelo Wall Street Journal. [Online] Disponível em: http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/noticias/473-analise-do-artigo-publicado-pelo-wall-street-journal. Acesso em 02 maio 2016.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. CONCENTRATING SOLAR POWER - IRENA. Renewable Energy. Renewable technologies: Cost Analysis Series - Concentrating Solar Power. s.l.:IRENA. 2012.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. CONCENTRATING SOLAR POWER - IRENA. Concentrating Solar Power - Technology Brief. s.l.:IEA-ETSAP / IRENA. 2013.

KALOGIROU, S.**Solar energy engineering: processes and systems**. s.l.:Academic Press. 2009.

MACKNICK, J. & al. **A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies**. s.l.:NREL. 2011.

MALAGUETA, D. C.. **Avaliação de Alternativas para Introdução da Geração Elétrica Termossolar na Matriz Energética Brasileira**. Rio de Janeiro: UFRJ/ COPPE. 2013.

MARANHÃO, I. M.. **Estudo sobre a tecnologia heliotérmica e sua viabilidade no Brasil**. Brasília: UnB/FGA. 2014.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. SOLAR POWER AND CHEMICAL ENERGY SYSTEMS - NREL**. Solar Power And Chemical Energy Systems** - SolarPACES. s.l.:NREL. 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Agenda 21** - CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E. Rio de Janeiro: UN. 1992.

PEREIRA, E. M. D., CHARBEL, A., AROREIR, I. & MESQUITA, L. C. d. S. **Mapeamento Básico das Precondições Gerais para Tecnologias Heliotérmicas no Brasil**. Brasília: Projeto Energia Heliotérmica.2014.

PY, X., AZOUMAH, Y. & OLIVES, R.. **Concentrated solar power: Current technologies, major innovative issues and applicability to West African countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, fevereiro, Volume 18, p. 306–315. 2013

SILVA, R. **Geração de energia elétrica a partir da concentração solar**. Guaratinguetá: USP. 2011.

VII. COPYRIGHT

Gestão da Informação para Fomentar o Processo Decisório de Viabilidade de Construção de Fontes Alternativas Renováveis de Energia

Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho[5], Renata Maria Abrantes Baracho[6], Rogério Amaral Bonatti[7], Christiano Pereira Pessanha[8], Marina Mourão Starling de Rezende[9], Fabiana Borges Lima[10]

Resumo – Esse artigo apresenta resultado parcial do projeto de pesquisa P&D, APQ-03371-12, "Gestão da informação para fomentar a sustentabilidade da carteira de geração de energia elétrica através do aumento da participação das fontes alternativas renováveis de energia na matriz energética da CEMIG e do Estado de Minas Gerais". O objetivo inclui a aplicação da gestão da informação direcionada ao processo decisório associado a energias renováveis. São apresentados conceitos da representação do conhecimento, conhecimento organizacional e processo decisório e avaliação econômico-financeira de empreendimentos. A questão de pesquisa considera: onde no Brasil há disponibilidade de geração (em vigor e potencial) de energia eólica, solar, biomassa e PCH e como o processo decisório poderá ser auxiliado pelas informações coletadas. A partir das análises dos empreendimentos em operação, dos empreendimentos planejados e das opiniões dos gestores e dos especialistas, identificou-se alguns parâmetros tangíveis e intangíveis que norteiam a tomada de decisão em investimentos em energias alternativas renováveis. Os resultados parciais apresentados nesse trabalho indicam a potencialidade dos benefícios desta pesquisa.

***Palavras-chave*– Fontes Alternativas, Gestão da Informação.**

I. Introdução

A pesquisa P&D, APQ-03371-12, "Gestão da informação para fomentar a sustentabilidade da carteira de geração de energia elétrica através do aumento da participação das fontes alternativas renováveis de energia na matriz energética da CEMIG e do Estado de Minas Gerais" está sendo desenvolvida pelo grupo de pesquisadores autores desse artigo. O objetivo inclui a utilização de conceitos e técnicas da gestão da informação para subsidiar o processo decisório das concessionárias energéticas para novos empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas.

Esta pesquisa é tem os seguintes patrocinadores e executores: a Escola de Ciência da Informação da Universidade Federal de Minas Gerais (ECI/UFMG), a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Companhia de Energética de Minas Gerais (CEMIG).

A fundamentação teórica metodológica inclui conceitos da representação do conhecimento, conhecimento organizacional, o processo decisório e a metodologia de pesquisa *Design Science Research*.

Mostra o relato e a extração dos indicadores a partir da análise das entrevistas e dos encontros com gestores e administradores de empresas relacionadas ao setor energético e, principalmente, que possuam expressão no tipo de geração de energia foco deste projeto de pesquisa.

Como parte da terceira etapa de entrega da pesquisa esse artigo apresenta a fundamentação teórica para os próximos passos baseada na representação do conhecimento e modelo matemático de representação da informação. Esses conceitos formam a base para o desenvolvimento dos chamados sistemas baseados em conhecimento. A próxima etapa da pesquisa busca a construção deste tipo de sistema com conhecimento profundo de um domínio, no caso fontes alternativas renováveis de energia, permitindo "raciocínio" ao sistema para resolver problemas de uma área específica.

II. Representação do Conhecimento

A ciência da informação é, eminentemente, uma ciência da representação e a maioria das atividades desempenhadas por seus profissionais está relacionada aos sistemas de recuperação de informações. Em cada registro de conhecimento, em metadados, e em cada necessidade de informação está implícita a necessidade de representação, para que seja possível, à posteriori, sua recuperação.

Desnecessário mencionar a importância da representação matemática do mundo, pela qual se tornou possível a evolução tecnológica, as tecnologias da informação e comunicação e os atuais sistemas de recuperação da informação. A Ciência da Informação admite que sua base teórica comece a emergir com a Teoria Matemática da Informação de Vajda, Shanon e Weaver publicada pela primeira vez em 1948 (VAJDA, SHANNON & WEAVER, 1950).

O modelo matemático de representação da informação proposto por estes autores levanta a problemática da representação da informação e do conhecimento. Deve-se, porém, ressaltar que esta teoria de base matemática, continua instru-

[5]F. R. A. C. Baracho (f_baracho@yahoo.com.br). Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Belo Horizonte, Brazil.
[6]R. M. A. Baracho (renatambaracho@gmail.com). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG Belo Horizonte, Brazil.
[7]R. A. Bonatti (rbonatti@gmail.com). UFMG.
[8]C. P. Pessanha (chrispess@gmail.com) UFMG.
[9]M. M. S. Rezende (marinamsrezende@gmail.com). UFMG.
[10]F. B. Lima (fabilima20@yahoo.com.br). UFOP.

mento muito útil para a construção de sistemas de recuperação de informação.

A despeito de tantas possíveis interpretações deste conceito, representação é o ponto crucial do processo informacional, uma vez que lhe cabe fazer a "tradução" do saber sobre as entidades e objetos do mundo real para o usuário final da informação. O usuário da informação, dessa forma, tem acesso ao conhecimento sobre o mundo físico e das ideias, através de seus elementos constitutivos (documentação), conectados pela eficácia dos sistemas de recuperação de informação (ALVARENGA, 2003).

Duas abordagens para elaboração de sistemas computacionais surgiram após o advento das linguagens de alto nível. Uma delas é a abordagem procedimental ou imperativa, que procura descrever o funcionamento dos processos em seus detalhes, sem compromisso em descrever também as características das entidades representadas – metáfora do "como fazer". A outra é a abordagem declarativa, que procura descrever as entidades e os fatos acerca de um dado domínio, utilizando-se de máquinas de inferência para deduzir novos fatos a partir dos já existentes bem como a solução desejada ou ação a ser tomada.

Sob a ótica das implementações computacionais, travou-se um debate nas décadas de 1970 e 1980 sobre qual das duas abordagens seria a mais adequada para se programar sistemas. Concluiu-se que as abordagens não são excludentes entre si, pois cada uma é mais adequada a determinado tipo de tarefa. Sendo assim, quando se trata de controle e eficiência, a abordagem procedimental apresenta os melhores resultados, tornando-se assim o paradigma de programação mais comumente empregado.

O paradigma declarativo, fundamentado de modo consistente na lógica matemática seguiu uma trajetória diferente. Sua motivação é modelar, os sistemas em um nível de abstração mais elevado, descrevendo o conhecimento do domínio que se deseja modelar sem preocupações a respeito da implementação (RUSSEL & NORVIG, 2014). Seu objetivo principal é criar, de modo declarativo, sistemas diretamente a partir do conhecimento, permitindo ao computador realizar inferências de modo automático, utilizando processos de dedução da lógica matemática como resolução, dedução natural, tabelado por (SMULLYAN, 1968), entre outros. Assim, o paradigma declarativo serve como fundamento, sempre que for necessário separar o conhecimento a respeito de um dado domínio do processamento associado a ele.

O desenvolvimento de sistemas dessa natureza exige primeiro que se especifique de modo abstrato o conhecimento a respeito do domínio para, em seguida, converter a especificação obtida em sentenças lógicas. É realizada a codificação para uma linguagem apropriada após essas duas etapas. Ao seguir esse procedimento para gerar um sistema, concentrando-se em especificar o conhecimento sem relacioná-lo a um código determinado, mantendo-o externo ao sistema, os pesquisadores visualizaram as vantagens do paradigma declarativo como engajamento ontológico ou de conhecimento (significando que as sentenças lógicas guardam uma relação mais direta com o domínio que se está modelando), legibilidade, capacidade de inferência, fidelidade semântica, reusabilidade, portabilidade do conhecimento por si, independente do código de implementação e, portanto, independente da máquina. Estas características apresentam-se como os grandes atrativos para os esforços em desenvolver sistemas em modelo dual, separando o conhecimento do domínio do resto do sistema, conforme descrito acima.

O estado da arte deste paradigma se consolidou no desenvolvimento dos chamados sistemas baseados em conhecimento (LEVESQUE, 1986), que incorporam a programação lógica e de forma diferente dos programas de uso geral que buscam soluções completas para problemas utilizando-se de passos elementares de raciocínio desenvolvidos no início das pesquisas em Inteligência Artificial (RUSSEL & NORVIG, 2014). Estes sistemas possuem um conhecimento amplo e específico de um dado domínio, permitindo passos de raciocínio maiores e mais complexos para se resolver problemas em uma área específica. Como exemplos, são geralmente citados os sistemas especialistas: MYCIN, DENDRAL, SHRDLU, CYC, entre outros.

Na busca por uma melhor forma de representação do conhecimento, os formalismos orientados a predicados, como as regras de produção e programação lógica (DARWICHE, 2008), e os formalismos orientados a classes e relações, como redes semânticas, lógica de descrições e frames, procuraram, enfatizando a declaração dos predicados lógicos do domínio e inferências ou nas classes de objetos pertencentes ao domínio e suas relações, representar o conhecimento e também processá-lo.

III. CONHECIMENTO ORGANIZACIONAL E O PROCESSO DECISÓRIO

Sobre a criação do conhecimento organizacional, Nonaka e Takeuchi (1997) definem como um processo que ocorre dentro de uma comunidade que interage entre si, o que permite a ampliação potencial do conhecimento criado pelos indivíduos, solidificando-o como parte da rede de conhecimentos da organização.

Dentre os fatores que possibilitam às organizações o sucesso em projetos relacionados ao conhecimento são: a cultura de orientação para o conhecimento, a estruturação técnica e organizacional, o apoio da alta gerência, a vinculação ao valor econômico ou setorial, a orientação para processos, a clareza de visão e comunicação, e o uso de múltiplos canais para a transferência do conhecimento (DAVENPORT & PRUSAK, 1998).

A gestão do fluxo informacional condizente com os processos decisórios é considerada uma forma de administração que visa o aproveitamento do conhecimento e necessariamente se faz uso do processo de identificação e mapeamento do conhecimento. Este será o insumo necessário para a determinação de novas práticas no ambiente organizacional.

O papel do conhecimento no processo gerencial também é evidenciado por Choo (2003), quando define que os processos organizacionais associados à busca pela informação propiciam a construção do conhecimento organizacional e possibilita-se a ação.

Sobre o processo de gestão da informação e do conhecimento Tarapanoff (2006) afirma:

> [...] é uma atividade independente, mas, quando ligada ao processo decisório, está fortemente ligado ao processo de gestão da informação e ao trabalho e análise da informação. A inteligência [estratégia] pode ser considerada síntese do processo de trabalho da informação e do conhecimento, gerando conhecimento novo capaz de indicar novos caminhos para a empresa (TARAPANOFF, 2006, p.30).

Assim, torna-se necessária a atenção por parte das organizações ao tratar do planejamento e do estabelecimento das estratégias empresariais, levando-se em consideração o conhecimento criado e gerido internamente (KWASNICKA, 2007).

IV. Definição de Parâmetros e Indicadores

Para Saaty (1990), os direcionamentos estratégicos tratam de elementos que possuem dimensões distintas envolvidos nos processos decisórios das organizações. Este trabalho propõe a classificação hierárquica destes elementos.

A identificação dos indicadores de tendências, a avaliação do ambiente de negócios e a evolução setorial são partes da análise crítica sobre as oportunidades e as ameaças em relação aos concorrentes e ao mercado (CHIAVENATO & SAPIRO, 2003).

Para a determinação dos elementos que compõem o modelo econômico apresentado neste artigo e os indicadores a serem implementados em recursos computacionais (próxima etapa do projeto em execução descrito anteriormente), foram realizadas entrevistas com gestores e especialistas de setores estratégicos de empresas relacionadas à geração de energia elétrica, tais como a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre outras.

V. Abordagem Metodológica

Alguns cuidados foram tomados na etapa de análise de dados. É sugerido o uso do pré-teste para verificar a validade de conteúdo do instrumento e refinar as questões e escalas (CRESWELL, 2003). A validação é importante para a obtenção de inferências úteis e significativas que possam ser extraídas a partir das respostas obtidas pelo instrumento.

Também para Chizzotti (1998) é recomendado que os questionários sejam testados, isto é, respondidos por alguns presumíveis informantes para se identificar problemas de linguagem, de estrutura lógica ou das demais circunstâncias que possam prejudicar o instrumento.

A necessidade de lidar com questões de diferentes naturezas, práticas e teóricas, aninhadas e interdependentes em suas diferentes soluções, encaminhou a pesquisa a buscar suporte no *Design Science Research*, uma vez que este, enquanto proposta metodológica situa-se neste contexto.

Considerando os problemas de design, advindos das ciências dos fenômenos artificiais, colocando-os no nível das ciências naturais, pesquisadores como Simon (1969) inserem possibilidades do desenvolvimento de posturas e metodologias para trabalhos que envolvem a criação de artefatos.

A atividade intelectual que produz artefatos materiais não é fundamentalmente diferente de uma que prescreve remédios para um paciente doente, que cria novos planos de vendas para uma companhia ou uma política de bem estar social para um estado. O design visto sob essa ótica apresenta-se como o núcleo de todos os treinamentos profissionais (SIMON, 1969, p.111).

VI. Design Science Research

Conforme ressaltado anteriormente, ao procurar trazer a atividade do design para um novo patamar intelectual, Simon (1969) procura esclarecer e distinguir ciência natural e ciência do artificial (ou *design science*). Ciência natural seria um corpo de conhecimento sobre classes de fenômenos ou objetos do mundo (natural ou da sociedade) que descreve como se comportam e interagem uns com os outros. Por sua vez, a ciência do artificial é um corpo de conhecimento sobre o *design* do artificial, que podem ser objetos ou fenômenos, denominados assim de artefatos, que são concebidos para cumprir certos objetivos pré-definidos.

O objetivo geral do *design research* é criar ou colaborar para o acréscimo de novos e interessantes conhecimentos de *design* numa área de interesse e ser uma doutrina sobre o processo de *design* num corpo de conhecimentos intelectualmente robusto, analítico, parte formal e parte empírico. Assim, pode-se entender que o *design research* envolve a criação de novos conhecimentos através do design de artefatos (coisas ou processos) bem como da análise do seu uso e desempenho. Tais artefatos, conforme ressaltado por Vaishnavi e Kuechler (2014), especificamente sob a ótica dos sistemas de informação, vão incluir, mas não se limitar a, algoritmos, interfaces, metodologias para o design de sistemas e linguagens.

Deve-se reforçar a atenção para a característica do conhecimento de acordo com o *design research*, conforme a descrição anterior: parte formal e parte empírico, sendo essa dupla característica a responsável por sua escolha no caso desta pesquisa. Conforme ressaltado por Wieringa:

> *Design research* enfatiza a conexão entre conhecimento e prática mostrando que se pode produzir conhecimento científico através do design de coisas úteis. [...] para resolver um problema prático, o mundo real é modificado para se adaptar a propósitos humanos, mas para resolver um problema de conhecimento, nós adquirimos conhecimento sobre o mundo sem, necessariamente, modificá-lo. No *design research*, esses dois tipos de problemas es-

tão mutuamente aninhados, mas este alinhamento não deve nos cegar para o fato de que suas soluções e métodos de solução são diferentes (WIERINGA, 2009).

A possibilidade de lidar com problemas de naturezas diversas como de conhecimento e práticos, o alinhamento e a influência entre os mesmos torna o *design research* uma opção adequada como referência para o percurso a ser desenvolvido por esta pesquisa.

VII. Padrão de Projeto de *Software*

Conforme ressaltado na sessão anterior, antes da codificação da solução computacional para o método de tomada de decisão selecionado, diversas opções quanto à tecnologia(s) utilizada deverão ser tomadas. Uma das decisões quanto à implementação, considerada da maior importância, é a de qual padrão de *design* utilizar.

Em engenharia de *software*, um padrão de *design* ou padrão de projeto (do inglês *design pattern*) é uma solução geral para um problema que ocorre com frequência dentro de um determinado contexto no projeto de *software*. Um padrão de projeto não é um projeto finalizado que pode ser diretamente transformado em código fonte ou de máquina, ele é uma descrição ou modelo (*template*) de como resolver um problema que pode ser usado em muitas situações diferentes. Padrões são melhores práticas formalizadas que o programador pode usar para resolver problemas comuns quando projetar uma aplicação ou sistema. Sua escolha tem profundas consequências no desenrolar do projeto. Por exemplo, padrões de projeto orientados a objeto normalmente mostram relacionamentos e interações entre classes ou objetos, sem especificar as classes ou objetos da aplicação final que estão envolvidas. Padrões que implicam orientação a objetos ou estado mutável mais geral, não são tão aplicáveis em linguagens de programação funcional e vice-versa.

O valor dos padrões de design reside no fato que eles são soluções que foram utilizadas e testadas, o que nos dá confiança em sua eficácia. O foco e, principalmente, a reutilização de soluções. Isso não implica que todos os problemas sejam iguais, mas se for possível analisar o problema e achar similaridades com problemas já resolvidos, pode-se aplicar essas soluções. Depois de décadas de programação orientada a objetos, a maioria dos problemas com os quais o desenvolvedor se deparará já terão sido resolvidas no passado e haverá um padrão/*pattern* disponível para auxiliar na implementação da solução. Mesmo quando se tem a impressão que o problema é único, ao analisá-lo cuidadosamente, é possível generalizá-lo o suficiente para encontrar a solução apropriada num padrão conhecido.

VIII. Amostra

As empresas que concederam importante contato se caracterizam pela atuação regular no mercado de geração, distribuição e comercialização de energia elétrica de Minas Gerais, principalmente, mas também de outras regiões. Estas demonstram ter conhecimento e prática em pequenas centrais hidroelétricas (PCHs), usinas hidrelétricas (UHE) e termelétricas (UTE) a gás natural. Estas empresas desenvolvem, também, estudos sobre PCHs, usinas eólicas e solares periodicamente e visam além: oportunidades de estudos para outros recursos para geração de energia elétrica.

No centro de pesquisa e de referência de fontes renováveis para a geração de energia elétrica em Leipzig, Alemanha: *Deutsches Biomasseforschungszentrum*[11], foi possível perceber que a preocupação em se adotar e de se desenvolver novas técnicas para a geração de energia elétrica é relevante quando se tem o objetivo de alterar a matriz energética efetivamente.

Representantes da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) auxiliaram para o entendimento do setor de comercialização e as perspectivas para as diferentes fontes para geração de energia elétrica, micro geração e regulamentação em geral do setor.

A avaliação das informações obtidas pelas entrevistas com gestores tem o objetivo de definir os tipos de investimentos mais visados atualmente, categorizar os riscos, elencar vantagens e desvantagens e, objetivo primordial do trabalho, elencar fatores que viabilizam e inviabilizam os investimentos nas quatro fontes de energias alternativas renováveis estudadas.

A. Análise das entrevistas

Com relação à existência de investimentos em fontes renováveis e interesse da empresa em novos investimentos, notou-se que todas as empresas possuem projetos para investimentos em geração renovável e que todos os entrevistados são favoráveis a investimentos dessa natureza. Uma delas salientou que em determinado momento seu portfólio de geração era exclusivamente renovável, possuindo empreendimentos de PCH, biomassa (bagaço de cana) e energia eólica.

Conclui-se que, sob a luz dos aspectos legais, os tipos de investimentos são definidos através de estudos e pesquisas, seguidos de leilões de energia, patrocinados pelo governo. Caso o investimento se mostre lucrativo, o projeto é posteriormente implementado. Salienta-se a necessidade do processo de obtenção de licenças, os documentos da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) como histórico detalhado dos leilões e a demanda de energia apresentada no Plano Nacional de Energia (PNE) e Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), composto de projeções de longo prazo que visa aspectos estratégicos. Assim, foram identificados e analisados aspectos econômicos, financeiros e mercadológicos.

Os investimentos em novos empreendimentos são avaliados a partir da situação econômica do país, do produto interno bruto (PIB), da renda per capita, da perspectiva de crescimento do país, de cenários setoriais como a indústria, de novas tecnologias, de eficiência energética, dos incentivos governamentais existentes e da disponibilidade de crédito para execução do projeto e posterior venda no leilão eletrônico.

[11] DBFZ -https://www.dbfz.de/aktuelles.html

Investimentos em energias alternativas renováveis são vantajosos do ponto de vista dos gestores e especialistas, pois possuem maior facilidade na obtenção de licenças ambientais (exceto no caso da PCH que gera maiores impactos ambientais, acarretando maior dificuldade quanto às licenças), maior rapidez na implementação devido à montagem otimizada, maiores incentivos governamentais, minimizando os custos (atualmente, o custo da energia eólica é a mais interessante devido a incentivos) e a possibilidade de ser implementada próxima da demanda de carga, tornando menores os custos de transmissão e melhorando o abastecimento. Adicionalmente, a geração por fontes renováveis gera menos impactos nocivos ao meio ambiente.

Em contrapartida, tais investimentos apresentam algumas desvantagens. Dentre as apontadas pelos gestores estão: dependência de locais apropriados para implementação, custo elevado dos equipamentos, preços menos competitivos, baixa rentabilidade, financiamento ainda raro e caro, dependência do preço do dólar (que se encontra elevado) e parâmetros regulatórios.

Por fim, os fatores apresentados como viabilizadores para investimentos em energias alternativas renováveis foram: a demanda elevada, a viabilidade dos projetos serem vendidos em leilão, , os incentivos governamentais, a presente evolução da tecnologia nacional reduzindo preços e, principalmente, a falta de outros recursos, tornando-os essenciais.

Por sua vez, fatores apresentados como potenciais inviabilizadores de investimentos em energias alternativas renováveis foram: a dificuldade de armazenamento da energia gerada, o custo da tecnologia, a baixa capacidade da produção nacional, a falta de regulamentação adequada e o fato das fontes não serem de geração contínua, necessitando complementariedade.

IX. Modelo Econômico-Financeiro

Uma análise de viabilidade econômica financeira é realizada nas alternativas que se mostrarem tecnicamente viáveis e sustentáveis. Por viabilidade técnica se entende principalmente disponibilidade da fonte energética com parâmetros mínimos de perenidade, eficiência da geração através da fonte primária e domínio da tecnologia. Já se referindo a sustentabilidade, pode-se destacar a inclusão social trazida pela instalação da fonte e a não agressão ao meio ambiente.

Como dito, as fontes primárias de energia alternativa que se mostrarem tecnicamente viáveis são então analisadas sob o ponto de viabilidade econômico-financeira. Ou seja, se a geração de energia elétrica através das fontes "classificadas" possuem retornos financeiros suficientes para atrair o capital necessário para a sua implantação. Assim, para ser atrativo, o retorno financeiro do investimento em determinada fonte deve superar o retorno financeiro em outro investimento qualquer mais o incremento do risco associado a esse tipo de investimento. Esse risco, a parte tangível, é parcialmente capturado pela modelagem econômico-financeira e pela identificação de alguns parâmetros associados. Assim, outra análise importante para viabilização de um projeto de geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas é referente à sua viabilidade econômico-financeira. A razão para se realizar esse tipo de análise é mostrar a capacidade que um projeto tem de gerar fluxo de caixa, cobrindo o custo total do investimento mais o custo total de manutenção do empreendimento em operação. Diminuir os riscos para o investidor e garantir o melhor retorno de tal investimento também fazem parte dos objetivos da avaliação econômico-financeira.

A. Análise Determinística

A análise determinística é composta pelo cálculo dos indicadores financeiros que ajudam o investidor no momento de sua tomada de decisão. Tais indicadores são os seguintes: VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno) e *PAYBACK* (Tempo de Retorno Financeiro do Investimento).

O VPL é definido como a diferença entre os fluxos de entrada e saída de recursos de um projeto de investimentos na sua data inicial, trazendo os valores futuros até esta data inicial por meio da utilização de desconto, que tem por base uma taxa mínima de atratividade (TMA) ou taxa de desconto.

O VPL é dado pela seguinte equação:

$$VPL = \sum_{t=0}^{n} \frac{R_t - C_t}{(1+i)^t} \tag{1}$$

Onde R_t representa a receita e C_t representa o desembolso, ambos em um determinado período. A diferença é descontada ou trazida a valor presente pela divisão pelo denominador formado pela soma do valor 1 com a taxa de desconto percentual dividida por 100 (i), onde tal soma é elevada ao número t, sendo t o período em que a receita e o desembolso ocorrem. Cada valor de investimento ou financiamento fica alocado no seu respectivo R_t e o valor residual fica alocado no último período t. A variável n é o horizonte de investimento do projeto de geração; ou seja, é a sua vida útil em anos.

Se o valor do VPL for maior ou igual à zero, o projeto se mostra viável e pode ser aceito. Entretanto, se for menor do que zero não oferece a atratividade mínima requerida e deve ser rejeitado. A vantagem do VPL é que ele captura o valor do dinheiro no tempo. Entretanto, o mesmo apresenta a seguinte desvantagem: em avaliações econômico-financeiras de diversas fontes, para que todas estejam na mesma base de comparação, se faz necessário adotar um horizonte de planejamento comum. Isso é feito por meio da utilização do mínimo múltiplo comum dos períodos totais associados a cada alternativa de investimento (m.m.c.). O resultado é um ajuste forçado dos horizontes de planejamento das diversas alternativas (diversas fontes de geração de energia elétrica).

A TIR é a taxa de desconto que anula o VPL do projeto, igualando o valor presente das entradas e saídas. Esse parâmetro representa o maior custo de oportunidade que o projeto pode suportar. A próxima equação representa matematicamente a TIR:

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{R_t - C_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (2)$$

Se o valor da TIR for igual ou menor do que a TMA, o projeto se mostra viável. De outra forma, não apresenta atratividade. O parâmetro TIR apresenta algumas vantagens: é expresso em termos percentuais, representando a lucratividade mínima de um projeto de investimento e pode ser aplicado para comparação entre projetos com vidas úteis ou horizontes de planejamento distintos. A aplicação da TIR pode se mostrar desvantajosa nos casos em que a TMA é menor do as TIR de diferentes alternativas de investimento, mas o VPL da alternativa com menor TIR é maior do o VPL da alternativa com maior TIR, para tal TMA. Isto pode resultar em menor investimento, o que pode se traduzir em perda de oportunidade de expansão de mercado e também de perda de oportunidade de ganhos maiores em valor absoluto.

O *PAYBACK* de um projeto é definido como o tempo necessário para que o fluxo de caixa se iguale ao investimento. De acordo com a teoria clássica, não há desconto para a diferença entre entrada e saída em cada período, o que leva a um tempo menor para que se "pague" o investimento. Entretanto, as aplicações práticas têm desconsiderado este preceito e vêm descontando os saldos de caixa em cada período para trazê-los a valor presente. Dessa última forma, o tempo de retorno representado pelo *PAYBACK* parece mais aderente ao custo de oportunidade de capital, principal preceito da análise.

O parâmetro *PAYBACK* se aplica à tomada de decisão através da comparação do tempo de retorno do investimento entre projetos.

B. Incertezas de um Projeto de Investimento

A análise financeira de um projeto é baseada em estimativas para todas as variáveis relevantes. Em função das incertezas associadas a tais variáveis, faz-se necessário uma primeira avaliação de risco, como já mencionado. O risco deve ser entendido como a probabilidade do retorno esperado não se concretizar. Quanto maior o horizonte de planejamento, maior a necessidade de uma avaliação das incertezas.

Na abordagem aqui levada a efeito, tal avaliação se subdivide em duas, a saber: análise de sensibilidade e análise de cenários.

C. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade, aqui definida, é a verificação do impacto causado pelas variações nos valores de uma variável sobre os indicadores financeiros determinísticos de um projeto de investimento. Essa análise mostra o quão susceptível um projeto de investimento é a alterações na estimativa inicial.

D. Análise de Cenários

A análise de cenários, por sua vez, considera a variação simultânea de vários parâmetros do projeto de investimento. O procedimento padrão consiste na construção de três cenários, a saber: base (mais provável), otimista e pessimista. No otimista, os benefícios do cenário base são superestimados, enquanto são subestimados no cenário pessimista. Por exemplo, pode-se variar o preço de venda da energia gerada, a taxa de câmbio, os débitos trabalhistas, etc. Cada variação tem um impacto no resultado final do projeto, mais especificamente nos parâmetros VPL, TIR e *PAYBACK*.

E. Modelo de Avaliação Econômico-Financeiro

Utiliza-se o mesmo modelo econômico-financeiro para verificar a viabilidade econômico-financeira de cada alternativa de investimento em geração de energia por fonte renovável alternativa. Os detalhes do modelo são:

O investimento inicial (implantação da Planta Geradora) é realizado no ano base ou ano 0 (por exemplo, o ano em curso). Pode haver investimento adicional em qualquer ano do horizonte de planejamento. O horizonte de investimento considerado é de 20 anos. A depreciação é contabilizada apenas como benefício fiscal. O benefício fiscal dos juros é contabilizado, assim como é feito para o pagamento do principal e dos juros. Os demais parâmetros considrados são os seguintes: preço estimado de comercialização da energia da fonte em questão ; Custo Médio Ponderado de Capital CMPC (ponderação entre participação e taxas do capital próprio e de terceiros) - WACC; Taxa de Uso do Sistema de Distribuição pela planta de geração – TUSDg; Capital de Giro - recurso utilizado para sustentar as operações diárias de uma empresa; Delta CG - diferença do capital de giro do ano seguinte para o anterior; PIS/COFINS - impostos sobre o Faturamento (ao ganhar um leilão, a geradora pode assumir um lucro presumido); o PIS/COFINS passa, nesse caso, a ser de 3,65% sobre esse lucro; Fluxo de Caixa Operacional - FCO; Fluxo de Caixa – FC; financiamento (considerado do Banco Nacional de Desenvolvimento – BNDES) com R$ (sem carência) = 80% do Investimento e Sistema de Amortização Constante – SAC (20 anos) ;impostos (IR = 25% / CSSL = 9% / PIS/COFINS = 3,65% (como dito anteriormente) / ICMS = Isenção de ICMS); Capital de Giro = 5% da Receita Anual; custos fxos = 1% do Investimento, por ano; despesas = 0,5% do Investimento, por ano; TUDg (R$ / kWmês) - há um desconto de 100% nos 10 primeiros anos e de 50% nos anos seguintes, para todas as fontes e Valor Residual = 0.

A figura a seguir mostra o modelo. Este modelo é aplicável a qualquer alternativa energética, respeitando-se suas particularidades. É necessário ressaltar que todos os campos são preenchíveis, exceto aqueles que são tratados computacionalmente e de forma automática. A determinação dessa implementação é foco de estudos atuais e a automatização deste recurso é, portanto, tema de artigos futuros.

Figura 1 – Modelo econômico-financeiro utilizado.

X. Análise de Atratividade por Custo da Energia na Mesma Base (*Levelised Cost of Energy* - LCOE)

O modelo para cálculo do LCOE de cada fonte é apresentado na figura a seguir.

ANO	INVESTIMENTO (R$ MM)	Produção (GWh)		DESEMBOLSOS TOTAIS (R$ MM)	Fator de Capacidade	Taxa de Desconto (%)
2016						
2017						
2018						
2019						
2020						
2021						
2022						
2023						
2024						
2025						
2026						
2027						
2028						
2029						
2030						
2031						
2032						
2033						
2034						
2035						
2036						
Produção Descontada (MWh)			Custos Totais Descontados + Investimentos Descontados (R$ MM)		LCOE (R$ / MWh)	

Figura 2: Modelo de Comparação do Custo da Energia Gerada (aplicado a cada alternativa de geração). Fonte: elaborado pelos autores.

Os itens que compõem esta tabela podem ser identificados conforme a especificação abaixo:

- Desembolsos totais anuais incorporam todos os custos calculados para definição do VPL do projeto (item anterior);
- MWh produzidos anualmente são descontados ao ano base, assim como os custos e investimentos totais;
- LCOE é obtido pela divisão da soma dos custos totais descontados mais os investimentos totais descontados (em valor absoluto) pela produção descontada.

A determinação do LCOE para cada alternativa de geração possibilita que as mesmas sejam comparadas entre si. Caso sejam verificados valores muito discrepantes, aquela ou aquelas alternativas que apresentar (em) o(s) LCOE(s) muito elevado(s) são descartadas.

Após a avaliação econômico-financeiro, com o emprego do modelo apresentado, pode ocorrer empate entre duas ou mais alternativas de investimento em fontes renováveis de energia. Por exemplo, duas ou mais fontes podem ter os parâmetros financeiros tais como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Tempo de Retorno do Investimento (*PAYBACK*), a Taxa de Atratividade, o Custo Unitário do MWh, dentre outros, muito próximos, com a mesma ordem de grandeza. Ou seja, dentro de uma margem de erro hipotética. Assim, uma tomada de decisão tendo por base parâmetros intangíveis se faz necessária para a escolha da melhor alternativa.

O projeto de pesquisa em andamento tem como próxima etapa apresentar a implementação deste modelo de incorporação de parâmetros intangíveis e do que foi já desenvolvido nas fases anteriores (BARACHO *et al.*, 2015 e BONATTI & BARACHO, 2015), com técnicas de computação voltadas para apoio à tomada de decisão.

XI. Modelo do Fluxo da Pesquisa

A. *Parâmetros Tangíveis e Intangíveis*

Até o presente momento, a pesquisa tem como resultado o levantamento dos parâmetros tangíveis e intangíveis que compõem o processo de análise. A Tabela 1 apresenta a relação dos parâmetros tangíveis extraídos de fontes de informação. Tal Tabela é resultado de uma etapa anterior da pesquisa.

Tabela 1 – Parâmetros tangíveis.

Parâmetros Tangíveis	
VPL	Valor presente líquido
TIR	Taxa interna de retorno

PAYBACK	Tempo de retorno
LCOE	Custo unitário de MW/h

Fonte: Autores.

A Tabela 2 apresenta a relação dos parâmetros intangíveis extraídos por meio de entrevistas com gestores especialistas no domínio. Tal Tabela é resultado de uma etapa anterior da pesquisa.

Tabela 2 – Parâmetros intangíveis.

Parâmetros Intangíveis
Disponibilidade do Recurso Energético
Vocação da Empresa para produção com a fonte especificada
Rentabilidade (Fontes de Financiamento e Benefícios do Setor)
Tipo de Fonte (Renovável / Tradicional ou Alternativa)
Impacto Ambiental
Domínio da Tecnologia
Alinhamento Regulatório
Visibilidade da Empresa
Demanda de Mercado (comercial, industrial e serviços)
Visibilidade da Empresa

Fonte: Autores.

A Figura 3 apresenta o diagrama geral do fluxo da pesquisa.
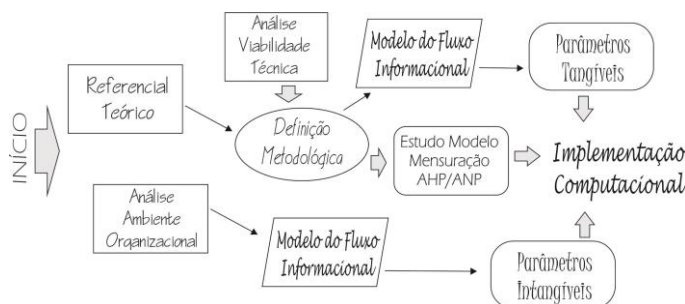
Figura 3: Modelo do Fluxo da Pesquisa.
Fonte: Autores.

XII. Perspectivas Para a Implementação do Modelo Computacional

Ainda que algumas metodologias de desenvolvimento de software preguem o conceito de fábrica em linha de produção, o que se se percebe é que a criação de aplicações é, na maior parte, um processo artesanal considerando as particularidades de cada aplicação, envolvendo regras de negócios específicas, o que induz a necessidade de buscar soluções criativas. A adequada seleção dos recursos tecnológicos disponíveis é, também, um dos fatores fundamentais para o sucesso do produto final.

Segundo Birrell (2003), para a computação, o desenvolvimento de *software* é a ação de elaborar e implementar um sistema computacional, transformando a necessidade dos usuários em produtos de *software*.

Sendo assim, a eficácia do *software* a ser produzido está estritamente relacionada à escolha da linguagem e demais ferramentas utilizadas para sua construção, pois, para cada finalidade de uso, existem características técnicas que confirmam o uso de ferramentas especificas.

Um processo de tomada de decisão pode ser finalizado por um indivíduo ou por um grupo de indivíduos. Os problemas relacionados à tomada de decisão normalmente são constituídos por vários critérios de decisão. De modo a gerir e avaliar sistematicamente tais critérios torna-se necessário utilizar um método que seja confiável e amigável ao usuário. Deve-se optar, também, entre uma implementação tradicional ou distribuída, caso seja necessária a construção de um artefato de *software* que dê suporte a usuários em diferentes localizações geográficas. Estes são alguns dos critérios a serem avaliados na escolha da tecnologia para a implementação almejada.

Ao se analisar os requisitos necessários para concretizar a implementação, como os postos acima, torna-se claro que a trajetória desta pesquisa envolve questões a serem respondidas teoricamente, bem como as que serão respondidas via implementação de artefatos computacionais.

XIII. Resultados Preliminares e Discussão

A partir das análises dos empreendimentos em operação, dos empreendimentos planejados e das opiniões dos gestores e dos especialistas, é possível identificar alguns parâmetros que norteiam a tomada de decisão em investimentos em energias alternativas renováveis, limitando ou colaborando para que eles sejam implementadas. Estes parâmetros são insumo para a elaboração do recurso computacional de apoio às decisões que tratam de novos empreendimentos no setor energético. Para isso, será necessária a mensuração dos parâmetros intangíveis e isso se dá pelo emprego do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Adicionalmente, fatores como a situação econômica do país, crescimento da população, crescimento da indústria e do PIB, dentre outros, podem colaborar negativa ou positivamente para investimentos em quaisquer fontes energéticas, incluindo as alternativas renováveis.

A dimensão de tais investimentos e de novos empreendimentos é determinante para a busca de ferramentas que façam uso intensivo de informações e que a organização destas possibilite um ajuste com as metas e objetivos organizacionais.

Muito importante destacar o que está planejado para o país para a próxima década, para que se tenha ideia do potencial e do local de destaque das fontes renováveis na matriz de energia elétrica brasileira. O crescimento da oferta se dará para atender ao crescimento do consumo apresentado na Figura 4.
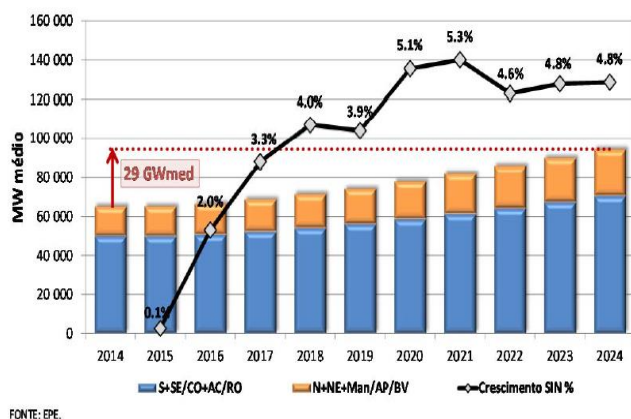
Figura 4 – Evolução da carga no PDE2024. Fonte: EPE(2015).

Em termos de crescimento da oferta regional, a Figura 5 ilustra o que está planejado até 2024.

	SUDESTE / CO	SUL	NORDESTE	NORTE	TOTAL
dez/14	72 202 (54%)	20 793 (16%)	21 641 (16%)	18 242 (14%)	132 878
dez/24	87 635 (42%)	27 960 (14%)	45 499 (21%)	45 353 (23%)	206 447
Δ (MW)	15 433	7 167	23 858	27 111	73 569
Δ (%)	21%	34%	110%	149%	55%
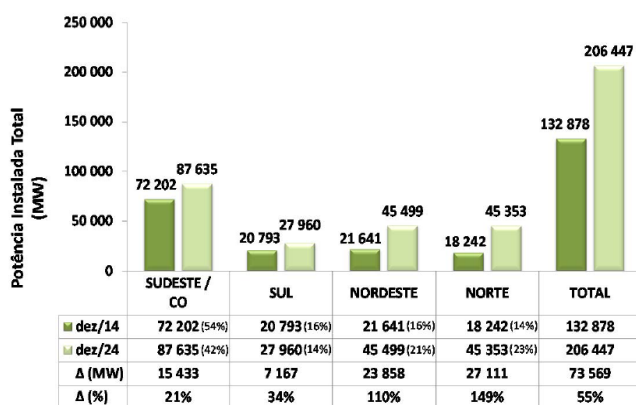
Figura 5 – Participação regional no PDE2024. Fonte: EPE(2015).

Dentro desta perspectiva, a Figura 6 apresenta o auspicioso incremento planejado para as fontes alternativas renováveis.
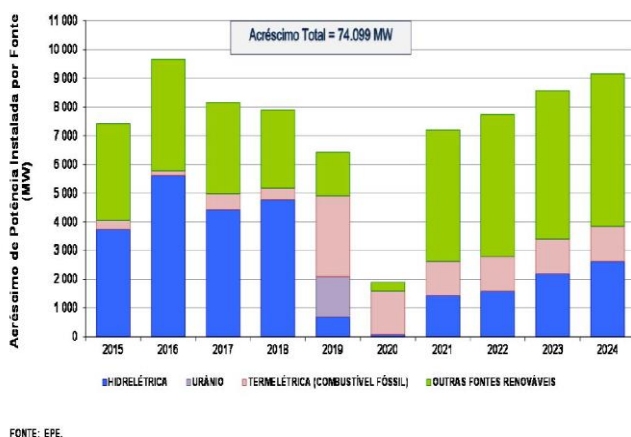
Figura 6 – Acréscimo da capacidade instalada prevista no PDE2024. Fonte: EPE(2015).

Tal crescimento se dará em maior escala na região Nordeste, como se pode ver na Figura 7.
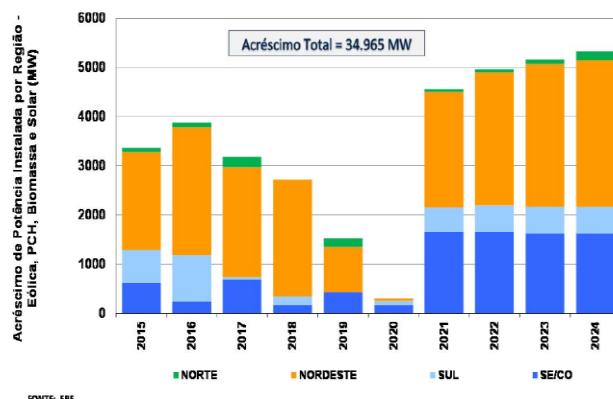
Figura 7 – Acréscimo da capacidade instalada prevista para fontes renováveis no PDE2024. Fonte: EPE(2015)

As duas figuras a seguir mostram como se espera ver a alteração da matriz energética até 2024, com acintoso crescimento da participação das fontes renováveis alternativas.
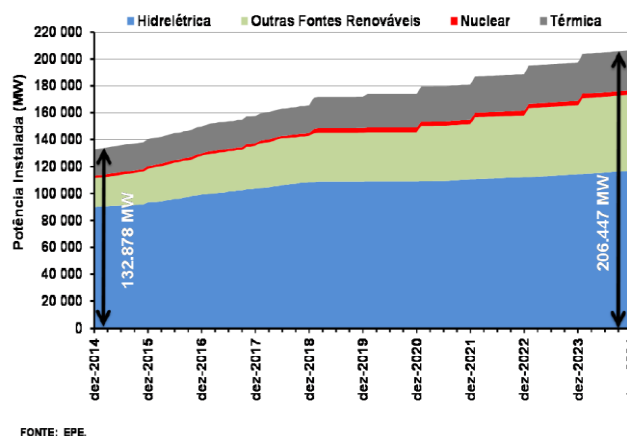
Figura 8 – Evolução do sistema interligado nacional (SIN). Fonte: EPE(2015)
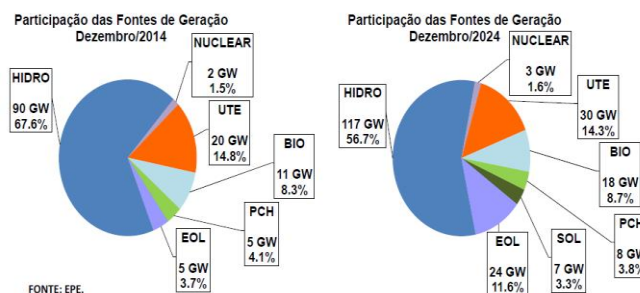
Figura 9 – Evolução do SIN pelo aspecto das fontes renováveis. Fonte: EPE(2015)

Traduzindo o que foi dito até aqui em valores monetários, vê-se um cenário também com um viés bastante promissor para quem já ingressou ou ingressará no campo da contribuição para um mundo ambientalmente mais amigável, mais limpo e mais sustentável das fontes alternativas renováveis de energia elétrica.

XIV. Considerações Finais

No presente artigo realizou-se uma discussão acerca das tendências de evolução do sistema elétrico brasileiro tendo

como clara constatação a sua direção rumo ao uso de fontes alternativas renováveis.

Fez-se também um resumo quanto as ideias associadas com a gestão da informação. Os próximos passos do projeto tratam da implantação de um protótipo que alie a modelagem considerando a mensuração dos parâmetros tangíveis e intangíveis. A implementação basear-se-á em criação de cenários e lógicas de sistemas especialistas e de inteligência artificial. O propósito maior do protótipo é auxiliar gestores nos processos decisórios considerando o maior número de parâmentros possíveis, assim como a ponderação da importância de cada parâmetro e a combinação deles no processo decisório final. Ou seja, sistematizar o processo decisório para que seja cada vez mais assertivo e menos conflituoso.

XV. Agradecimentos

À Cemig e FAPEMIG pelo projeto ser selecionado e financiado pelo EDITAL FAPEMIG 15/2012, Pesquisas na área do Setor Elétrico PARCERIA FAPEMIG – CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. e CEMIG GERAÇÃO e TRANSMISSÃO S.A. Pesquisas na área de Comunicação e Relacionamento Empresa-cliente. Este trabalho é parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Governo do Estado de Minas Gerais, Brasil.

XVI. Referências Bibliográficas

ALVARENGA, L. **Representação do Conhecimento na Perspectiva da Ciência da Informação em Tempo e Espaço Digitais.** Encontros Biblioteconomia: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação, v. 8, n. 15, p. 18–40, 2003.

BARACHO, R. M. A. et al. *Information management for making decision on investments for electricity generation*. In: ***The 19th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics:*** WMSCI 2015, 2015, Orlando. The 19th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics: WMSCI 2015 - PROCEEDINGS - VOLUME II. Orlando: International Intitute of Informatics and Systemics. v. II. p. 57-62.

BARACHO, R. M. A. ; BONATTI, R. A. ; MATTOS, M. C. . Modelo de apoio à decisão para empreendimentos do setor energético. In: **XV ENANCIB - Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação**, 2014, Belo Horizonte. Anais - XV Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação: além das nuvens, expandindo as fronteiras da Ciência da Informação. Belo Horizonte: Associação Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação - ANCIB, PPGCI-UFMG, 2014. v. 1. p. 2011-2033.

BIRRELL, N.D. A Practical Handbook for Software Development. [S.l.]: Cambridge University Press, 2003.

BONATTI, R. A. ; BARACHO, R. M. A. . **A gestão da informação e o processo decisório no setor energético: mensuração de critérios e alternativas.** Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia, v. 10, p. 237-249, 2015. Disponível em: <http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/pbcib/article/view/24822>.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. MME/EPE (2015). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.** Brasília: MME/EPE. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Plano%20Decenal%20de%20Energia%20%E2%80%93%20PDE/MME.aspx>. Acesso em: 02 ago. 2016.

CHIAVENATO, I.; SAPIRO, A. **Planejamento Estratégico.** Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2003.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais.** 3.ed. São Paulo: Cortez, 1998.

CHOO, C. W.. **A organização do conhecimento:** como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões. São Paulo: Senac, 2003.

CRESWELL, J. W. ***Research Design:*** Qualitative, Quantitative and MixedMethods Approaches. 3 ed. Sage Publications. Los Angeles. 2013.

DARWICHE, A. ***Handbook of Knowledge Representation*.** Elsevier. 2008. v. 3.

DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Conhecimento Empresarial:** Como as organizações gerenciam o seu capital intelectual. São Paulo: Elsevier. 1998.

GRYSCHEK, J.M.; BELO, F.R. **Produção e uso do gás metano na agricultura e agro-indústria.** Piracicaba, ESALQ, 1983. 15p.

KWASNICKA, E. L., **Introdução à Administração:** uma visão sistêmica. São Paulo: Atlas, 2007.

LEVESQUE, H. J. ***Knowledge Representation and Reasoning*.** Annual Review of Computer Science, v. 1, n. 1, p. 255–287, jun. 1986.

NONAKA, K e TAKEUCHI, H. **Criação do conhecimento na empresa.** Rio de Janeiro: Elsevier, 1997.

PROBST, G.; RAUB, S.; ROMHARDT, K. **Gestão do conhecimento: os elementos construtivos do sucesso.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

RUSSEL, S. e NORVIG, P. ***Artificial Intelligence:*** *A Modern Approach*. 3 ed., Prentice Hall Press, 2014.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial.** 3. ed. Cambridge: M.I.T. Press, 1969.

SMULLYAN, R. M. ***First-Order Logic*.** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1968.

SAATY, T. L. ***How to Make a Decision:*** *the analytic hierarchy process***.** European Journal of Operational Research, Amsterdan, V.48, Ed.1, p.9-26, 1990.

STEWART, T. A. **Capital intelectual:** a nova vantagem competitiva das empresas. 7.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

TARAPANOFF, K., **Informação, conhecimento e Inteligência em corporações:** relações e complementaridade. Inteligência, Informação e Conhecimento em Corporações. Brasília: IBICT, UNESCO, 2006. P.19-35.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. Design Science Research in Information Systems. Disponível em: <http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/>. Acesso em: 10 out. 2016.

VAJDA, S.; SHANNON, C. E.; WEAVER, W. ***The Mathematical Theory of Communication.*** The Mathematical Gazette, v. 34, n. 310, p. 312, dez. 1950.

WIERINGA, R.J. Design Science as Nested Problem Solving. In: 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology. 2009, Philadelphia. Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology. Philadelphia, 2009. p. 1-12.

XVII. COPYRIGHT

Alternativas Energéticas e o Contexto Social e Ambiental

Luana T. C. Lana

***Resumo* – Com o objetivo de conhecer a realidade ambiental do planeta, buscando transformar objetivos em metas específicas, diversas conferências e reuniões têm sido realizadas. Concomitantemente, conhecer a realidade de cada país, principalmente em relação ao seu consumo energético, faz parte do processo de desenvolvimento sustentável. O presente artigo representa essa realidade, considerando a necessidade de diversificação da matriz energética, através de fontes alternativas e renováveis de energia. Além disso, contribui para a reflexão sobre projetos que se apresentam efetivos para tais objetivos.**

***Palavras-chave* – Alternativas renováveis, Matriz energética, Sustentabilidade.**

I. Introdução

Eventos naturais de grande impacto negativo à população, estações climáticas com características alteradas, chuvas inconstantes, mudanças bruscas de temperatura, e outros acontecimentos, são observados com facilidade por muitos dos presentes no planeta Terra. Alguns tendem a ignorar a relação de tais eventos com o agravamento do efeito estufa, porém, pesquisadores indicam que à medida que a temperatura global do planeta aumenta, os mesmos acontecem com mais frequência e intensidade (WWF BRASIL, 2016).

A importância e preocupação em relação a tal efeito são observadas considerando o número de eventos, convenções e programas que o discutem e analisam. A Conferência do Clima (COP), por exemplo, em sua vigésima primeira edição, realizada em Paris, teve como principal objetivo discutir as metas ambientais para os próximos anos. Propôs-se a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), com o objetivo de limitar a elevação da temperatura em 2º C acima do nível pré-industrial.

Ora, para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, tem-se que conhecer sobre as principais atividades antrópicas que o emitem. De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2014), os principais setores da economia brasileira responsáveis por emissões de GEE são o de energia, agropecuária e uso da terra e florestas. Sendo considerada, no último "emissões e remoções resultantes das variações da quantidade de carbono, seja da biomassa vegetal, seja do solo, considerando-se todas as transições possíveis entre diversos usos" (MCT, 2014, p.15). Ainda, no setor da agropecuária, as "emissões devido à fermentação entérica do gado, manejo de dejetos animais, solos agrícolas, cultivo de arroz e queima de resíduos agrícolas" (MCT, 2014, p.15). E, por fim, no setor de energia, foram contabilizadas as "emissões devido à queima de combustíveis e emissões fugitivas da indústria de petróleo, gás e carvão mineral" (MCT, 2014, p.15).

Tais informações são interessantes quando se observa a situação do mundo como um todo. A maioria dos países, desenvolvidos ou não, apresentam pelo menos um desses setores como responsáveis por emitir grandes quantidades de gases de efeito estufa. Com isso, entende-se que alternativas que se apresentem úteis e factíveis para um país deveriam ser, também, para os outros. Porém, cada continente, e consequentemente cada país e região, possuem especificidades e questões socioambientais que interferem em suas possibilidades. Principalmente, nas mudanças de paradigmas para conseguirem alcançar a meta de redução de GEE desejada, ou prometida.

Considerando então, que representantes de 195 países aprovaram o acordo global do clima (GARCIA, 2015), discussões maiores deverão acontecer com o propósito de trocar experiências para novas atitudes. O Brasil, desde 2009, instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), como um "compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE)" (MCT, 2014). E, com isso, tem realizado balanços, relatórios e outros documentos que têm auxiliado a entender o cenário brasileiro, e através dos mesmos, propor medidas e criar alternativas que auxiliem no cumprimento das metas de redução.

Dentro deste contexto as alternativas energéticas, principalmente as que envolvem fontes renováveis de energia, aparecem como uma necessidade do país. Além de serem capazes de reduzir a emissão do setor de energia, por substituírem as fontes fósseis, vão de encontro com outra premissa discutida na COP 21, o acesso universal à energia elétrica. De acordo com a ONUBR (2016), corroborado por Diniz (2015), cerca de 1,2 bilhão de pessoas, no mundo, ainda vivem sem eletricidade, sendo que, as principais características desse grupo são a dispersão e a dificuldade de acesso para instalação de linhas de transmissão de energia.

Ainda discorrendo sobre novos conceitos e indo de encontro com a necessidade de atingir a população citada anteriormente, dentro do universo das alternativas energéticas, surge a geração distribuída (GD) de energia. Esta se trata da geração *in loco*, ou seja, com a possibilidade de estar ou não conectada ao sistema interligado nacional (SIN).

Com isso, e através da constante mudança no setor elétrico, propõem-se projetos sustentáveis, que atendam à população sem acesso à energia. Diante destes, faz-se necessária uma criteriosa avaliação das questões da sustentabilidade em projetos de geração de energia elétrica.

Este artigo propõe, diante do apresentado, uma reflexão sobre o atual contexto ambiental e os seus desafios; a apresentação de alternativas energéticas que podem colaborar com o desenvolvimento de uma sociedade sustentável; por fim, uma contribuição sobre o apresentado no Seminário de Desenvolvimento Sustentável e Matriz Energética na América Latina (realizado pelo Centro de Direito Internacional – CEDIN, em parceria com a *Konrad Adenauer Stiftung* e a EKLA - Programa Regional de Segurança Energética e Mudança Climática na América Latina).

II. Aquecimento Global, Conferência das Partes (COP) e Desafios Futuros

Dentre os diversos assuntos discutidos por ambientalistas e estudiosos, o aquecimento global tem sido o principal deles. Apesar do princípio deste problema ambiental ser um efeito natural (efeito estufa), o seu agravamento traz diversos impactos negativos para o planeta e para os seres que o habitam. De acordo com a WWF Brasil (2016):

> Aquecimento global é o aumento da temperatura média dos oceanos e da camada de ar próxima à superfície da Terra que pode ser consequência de causas naturais e atividades humanas. Isto se deve principalmente ao aumento das emissões de gases na atmosfera que causam o efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO_2).

As causas naturais (radiação solar, movimentos orbitais, e outros) não podem e, até mesmo, não devem ser alteradas, já que são necessárias para a manutenção da natureza. Pelo contrário, aquelas que se referem às atividades humanas, precisam ser analisadas e controladas. Para isso, propõem-se encontros, seminários e conferências que estudam e determinam metas que auxiliam no controle das emissões de gases a partir de atividades antrópicas.

Com esse propósito, surge uma base de cooperação internacional, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, em inglês). Inicialmente, o texto da convenção foi assinado por 175 países, os quais passaram a se reunir anualmente, para discutir as questões propostas. Tais reuniões são conhecidas como Conferência das Partes (COP) (WWF BRASIL, 2016). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2016), tal Conferência "é o órgão supremo (...). Suas decisões, coletivas e consensuais, só podem ser tomadas se forem aceitas unanimemente pelas Partes, sendo soberanas e valendo para todos os países signatários.".

De maneira complementar, a COP também é responsável por:

> - examinar periodicamente as obrigações das Partes e os mecanismos institucionais estabelecidos por esta Convenção;
> - promover e facilitar o intercâmbio de informações sobre medidas adotadas pelas Partes para enfrentar a mudança do clima e seus efeitos;
> - promover e orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento periódico de metodologias comparáveis, a serem definidas pela Conferência das Partes para elaborar inventários de emissões de gases de efeito estufa por fontes e remições por sumidouros;
> - examinar e adotar relatórios periódicos sobre a implementação desta Convenção (MMA, 2016).

O penúltimo encontro, realizado em Paris, no ano de 2015, teve um documento lavrado e assinado por mais de 190 países, assumindo compromissos quanto à redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE). Tais compromissos basearam-se no reconhecimento de que, "as mudanças climáticas representam uma ameaça urgente e potencialmente irreversível para as sociedades humanas e para o planeta e, portanto, requer a mais ampla cooperação possível de todos os países e sua participação numa resposta internacional eficaz e apropriada, com vista a acelerar a redução das emissões globais de gases de efeito estufa" (UNFCCC, 2016, p.1).

Garcia (2016), no site G1 da Globo, resume os principais pontos do acordo aprovado como: "países devem trabalhar para que aquecimento fique muito abaixo de 2ºC, buscando limitá-lo a 1,5ºC; países ricos devem garantir financiamento de US$ 100 bilhões por ano; não há menção à porcentagem de corte de emissão de gases de efeito estufa necessária; texto não determina quando emissões precisam parar de subir e; acordo deve ser revisto a cada 5 anos". Além disso, o documento reconhece a necessidade de "promover o acesso universal à energia sustentável em países em desenvolvimento, particularmente na África, por meio da implantação reforçada das energias renováveis" (UNFCCC, 2016, p.3).

Com os pontos apresentados, os desafios futuros se apresentam diversificados e ambiciosos. Para que se tornem possíveis, necessário se faz conhecer a atual situação dos países, em especial a do Brasil e de alguns representantes da América Latina, quanto à sua matriz energética e acesso à energia elétrica.

III. Matriz Energética – Brasil e Países da América Latina

Para entender a matriz energética de um país, e analisar os energéticos presentes na mesma, torna-se indispensável a definição do seu conceito.

Bueno (2013) considera matriz energética aquele instrumento que exprime o quadro de geração e consumo de energia, e que é capaz de auxiliar no planejamento energético, considerando disponibilidade, custos e sustentabilidade. Ressalta-se que a energia trata-se não somente do tipo elétrica, mas de todos, como térmica, mecânica e cinética, capazes de serem

geradas através de energéticos (combustíveis, e fontes diversas de energia).

A seguir serão apresentadas as matrizes energéticas, do México, Colômbia, Chile e Brasil (alguns representantes da América Latina), baseadas no livro Desenvolvimento Sustentável e Matriz Energética na América Latina: A universalização do acesso à energia limpa, e outros documentos.

F. México

O estudo realizado para o México levou em consideração os energéticos para produção de energia primária e secundária, e ainda, a capacidade da Matriz Energética para um futuro próximo e desejado (CHACÓN, 2016).

Conceituando energia primária e secundária, de acordo com a Copel (2008), tem-se:

> Energia primária são as fontes oriundas da natureza, em sua forma direta, como o petróleo, o gás natural, o xisto, o carvão mineral, os resíduos vegetais e animais, a energia solar e a eólica e os produtos da cana-de-açúcar, como o caldo de cana, o melaço e o bagaço.
> Entende-se por energia secundária o resultado dos diferentes centros de transformação que têm como destino os diversos setores de consumo e, eventualmente, outro centro de transformação (COPEL, 2008).

De acordo com Chacón (2016, p.216), em 2014 o México consumiu menos do que o produzido de energia, sendo que esta última foi "2,3% maior que a disponibilizada nas diversas atividades de consumo no território nacional". Ainda de acordo com o autor, o consumo final de energia foi distribuído, por setor, da seguinte forma: transporte (45,9%), industrial (32%) e doméstico, comercial e público (18,8%).

De maneira ilustrativa, tem-se na Figura 1, a matriz energética do México. Nela observa-se a predominância dos energéticos derivados do petróleo (hidrocarbonetos), enquanto que as energias renováveis são pouco representativas.

De maneira análoga, a matriz é representada em porcentagem pela Figura 2 a seguir. A partir da mesma, é possível constatar que as energias renováveis representam apenas 7,56 % de toda a matriz, enquanto o petróleo 63,42 %. Observa-se a presença da biomassa como o principal energético contido na parcela renovável da matriz. Mesmo sendo as energias solar e eólicas praticamente irrisórias no contexto, de acordo com Chacón (2016), ambas apresentaram um aumento considerável nos últimos anos, juntamente com a energia de fonte hídrica.
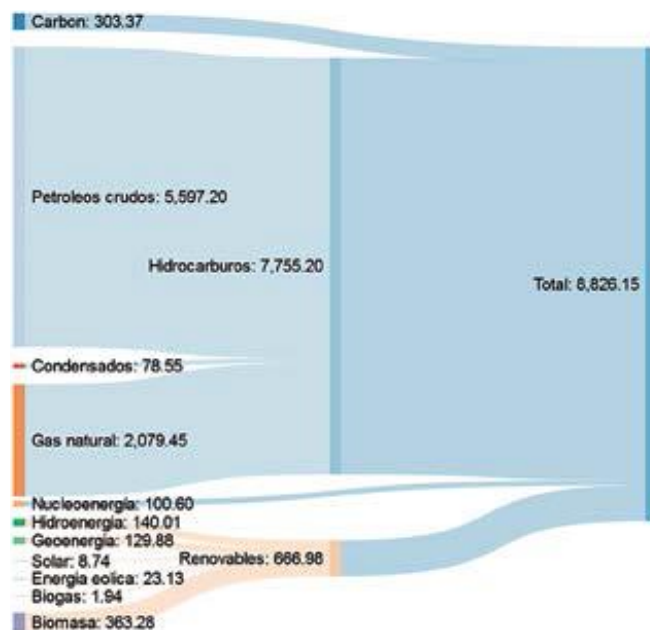
Figura 1. Esquema geral da produção de energia primária em Petajoules. Fonte: (CHACÓN, 2016).
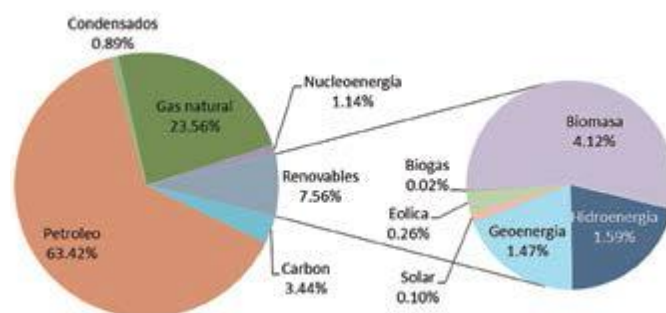
Figura 2. Distribuição percentual segundo a fonte para a produção de energia primária. Fonte: (CHACÓN, 2016).

O México, assim como outros diversos países, tem buscado a diversificação de sua matriz energética, investindo na possibilidade de expansão das fontes renováveis. De acordo com Chacón (2016), o país se comprometeu, através da Lei para o Aproveitamento de Energias Renováveis e Financiamento da Transição Energética (LAERFTE), em possuir participação máxima de 65% de combustíveis fósseis na geração de energia até 2024; através do acordo de Paris, em conjunto com o Canadá e Estados Unidos, em possuir 50% de sua energia gerada a partir de energias limpas, até 2025; através da Lei de Transição Energética (LTE) e da Lei Geral sobre Mudança Climática (LGCC), 35% da geração de energia elétrica vinda de fontes limpas.

Diante do exposto, percebe-se a preocupação do país em colaborar com a redução da emissão de gases de efeito estufa e, com isso, diminuir o impacto ambiental e climático causado pela geração de energia através de fontes fósseis. De forma concomitante, existe uma preocupação em dar acesso à energia elétrica à toda população do México que ainda não a possui, ou seja, 1,6 % da mesma. Esta se dá através de projetos que buscam resolver o problema da eletrificação rural, como o Projeto Serviços Integrais de Energia (PSIE); o Programa de Desenvolvimento do Sistema Elétrico Nacional (PRODESEN), e outros.

G. *Colômbia*

Apesar de também apresentar uma parcela da população ainda sem acesso à energia elétrica, e desejar um desenvolvimento sustentável para a nação, os problemas e diversidades desse país são diferentes dos demais apresentados (FRANCO, GALVÃO & ANDRADE, 2016).

Os problemas, ou obstáculos, estão relacionados as questões sociopolíticas e econômicas, considerando "desigualdade interna, o narcotráfico e um setor energético historicamente complexo e oscilante" (FRANCO, GALVÃO & ANDRADE, 2016, p. 291).

De acordo com os estudos realizados, o país apresenta sua matriz de energia elétrica semelhante à do Brasil, considerando a alta representatividade da geração hidrelétrica.
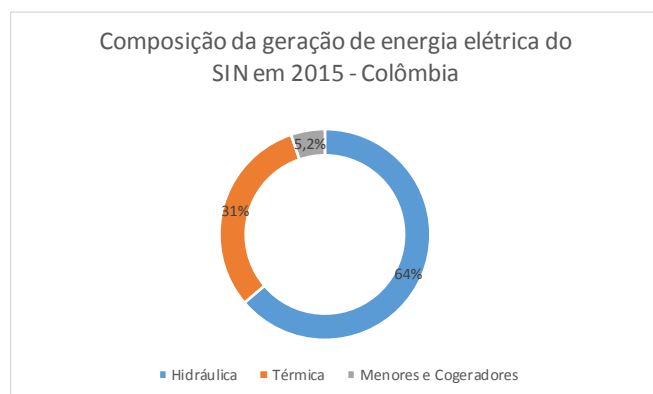
Figura 3. Composição da geração de energia elétrica do SIN, em 2015 - Colômbia. Fonte: Adaptado de (FRANCO, GALVÃO & ANDRADE, 2016).

A Figura 3 demonstra que mais de 60% da matriz elétrica é renovável, considerando-se a fonte hídrica. Porém, 31% é térmica, o que implica em consumo de energéticos derivado do petróleo e, com isso, geração e emissão de GEE. De acordo com Franco, Galvão & Andrade (2016), houve aumento da presença das térmicas na matriz, considerando crises hídricas ocorridas no período de 2014 para 2015. Tal cenário será semelhante no Brasil, quando da abordagem do mesmo.

Vale ressaltar que, dos 5,2% de geradores considerados menores, tem-se a produção de energia através de fontes como eólica e biomassa, o que demonstra uma inserção de fontes alternativas renováveis na matriz deste país.

Considerando a atual necessidade de inserir novas populações ao acesso de energia elétrica e, considerando o fato que a Colômbia possui cerca de 3% da sua população sem tal acesso, desenvolver projetos que considerem a geração distribuída pode ser um recurso, ou um caminho para o objetivo apresentado.

Apesar de ser uma solução aparentemente viável, não leva em consideração as características das populações que ainda não possuem o acesso à eletricidade. Com isso, vale refletir sobre qual é a real necessidade da comunidade, antes de propor projetos.

De acordo com Franco, Galvão & Andrade (2016, p.306), a necessidade deste país, em relação ao acesso à eletricidade, trata-se de:

> (...) uma política energética para as populações rurais colombianas, a fim de se alcançar o princípio do desenvolvimento sustentável, que deve ser entendido como a integração entre as perspectivas social, ambiental e econômica, no qual o desenvolvimento social terá primazia.

H. *Chile*

O Chile é um país que apresenta estrutura geográfica diferenciada, considerando ser estreito, porém, de extenso comprimento. A partir do mesmo, possui diversidade no clima e em outros aspectos.

Jofré *et al.* (2016), afirma que a matriz energética chilena conta com poucos recursos energéticos locais, considerando que 68% de sua energia primária é proveniente de combustíveis fósseis (maioria importados). Ainda assim, nesta matriz, a biomassa é considerada como o energético local de maior representatividade, sendo utilizado para geração elétrica e também para consumo direto (principalmente pelo setor residencial) (JOFRÉ ET AL., 2016).

Assim como em outros países apresentados, o Chile possui como principais setores consumidores de energia, o industrial (42%), transportes (35%) e os outros, comercial, público e residencial, (22%).

Como já citado anteriormente, cada país apresenta-se com características intrínsecas e, com isso, necessidades diferentes. O próprio Chile, ao ser apresentado no livro e seminário "Desenvolvimento Sustentável e Matriz Energética na América Latina", em 2016, considera suas características geográfica e climática especiais.

De acordo com Jofré *et al.* (2016), a diversidade climática do país faz com que os usos finais de energia variem muito, por exemplo, sendo a região norte caracterizada por climas quentes e secos, o consumo energético é diferente da zona sul, que possui climas frios. Tais configurações são importantes na hora de propor o acesso à energia, principalmente considerando as alternativas renováveis.

Um dos problemas apresentados pela professora Paz Araya, no Seminário Desenvolvimento Sustentável e Matriz Energética na América Latina", em 2016, foi o grande consumo de lenha, como energético, no Chile. Associada à problemas de saúde, poluição ambiental, e outros, a lenha é considerada ultrapassada, e deve ser substituída. Tal substituição é considerada, pela maioria dos envolvidos, como solução do problema chileno, porém, a realidade do país, quanto ao consumo deste energético, é diferente.

"O consumo de lenha no Chile não se associa intrinsecamente a situações de pobreza, pois seu consumo se encontra presente em diversos estratos socioeconômicos da população" (ARAYA, 2016). Para a solução, sobre a troca de energético, necessário se faz conhecer a cultura do país, e entender, realmente, o porquê do uso do mesmo.

A apresentação feita por Araya (2016), indica que o consumo de lenha, em residências, está muito relacionado com a calefação das casas e, com hábitos culturais das famílias. Por

ser um país que apresenta regiões de frio, durante todo o ano, as casas deveriam ser melhores preparadas para manter temperaturas agradáveis dentro delas. Com isso, resolver o problema da lenha seria, na realidade, propor um sistema central de aquecimento das casas, talvez melhorando a infraestrutura das mesmas (equipamentos isolantes térmicos).

I. Brasil

A matriz energética brasileira é considerada equilibrada entre fontes renováveis e não renováveis de energia. Considerando ser um país de grande extensão territorial, apresenta também grande diversidade e, com isso, muitas possibilidades de se explorar as alternativas energéticas.

De acordo com o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (2016), a oferta interna de energia do Brasil está dividida entre fontes renováveis e não renováveis, sendo sua representatividade, respectivamente, 41,2 % e 58,8 %, no ano de 2015.

Figura 4. Repartição da oferta interna de energia – OEI. Fonte: (EPE, 2016).

Através da Figura 4 apresentada, pode-se conhecer quais os principais energéticos de cada classificação. Argumentando, com isso, que a poluição gerada pelos energéticos não renováveis são, de maneira geral, maiores do que outros ali representados.

Apesar dessa configuração, o Brasil, em sua matriz elétrica, apresenta grande percentual referente às energias renováveis. Atualmente, de acordo com Bassani & Ferreira (2016), a maior parcela da energia elétrica gerada (64,58 %) é proveniente de fontes hidráulicas, enquanto o restante é representado principalmente pelas termelétricas (27,69%). O que vale dar destaque são as outras formas de energia renovável, eólica (6,34 %) e solar (0,02), que há não muito tempo eram praticamente insignificantes nesta matriz.

A alteração climática e suas consequências, principalmente relacionadas à crise hídrica, motivou novos investimentos na diversificação da matriz elétrica. Apesar de o país ter acionado termelétricas, para a manutenção do fornecimento de energia durante a crise hídrica, e este fato ter gerado impactos tanto ambientais quanto econômicos, o Brasil também apresentou um crescimento em fontes antes não tão representativas.

Dentro deste contexto, aparece e desenvolve-se a geração distribuída, que passa a ser regulamentada pelas Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015 (ANEEL, 2012 e 2015). Estas fazem com que seja possível a compensação da energia gerada, ou seja, permitem que o gerador independente injete sua energia na Rede de Distribuição e, com isso, gere créditos ao mesmo. Quando este necessita da energia, ela pode ser utilizada dentro do prazo de validade de seus créditos.

IV. Alternativas Energéticas e Geração Distribuída

As alternativas energéticas provenientes de fontes renováveis passaram a ser ainda mais exploradas, considerando o contexto ambiental. Com isso, torna-se necessário conhecer o funcionamento básico das principais tecnologias.

J. Energia Solar

A energia solar pode ser aproveitada através de diversas tecnologias, e pode gerar energia térmica, através do aquecimento de fluídos, ou energia elétrica, através do efeito fotovoltaico (ou fotoelétrico).

Gore (2010, p.64), enfatiza que, “existem duas maneiras de gerar eletricidade a partir da luz do sol: produzindo calor para acionar um gerador ou convertendo a luz do Sol diretamente em eletricidade utilizando células solares”.

A tecnologia mais difundida, atualmente, trata-se da energia solar térmica, considerando que o investimento inicial e o tempo de retorno do mesmo tornaram-se viável e atrativo nos últimos tempos. De acordo com Ferreira (2016), o Brasil se encontra entre os cinco primeiros países de maior produção de energia solar térmica no mundo.

Torna-se comum confundir a energia solar, em relação às suas tecnologias. A solar térmica e solar fotovoltaica apresentam características semelhantes, como a utilização de placas que transformam a luz solar. Porém, “a térmica tem tubos acoplados, por onde passa a água, aquecida naquele momento” (FERREIRA, 2016), sendo a água armazenada e mantida em reservatórios específicos para a manutenção da temperatura. Já a fotovoltaica, produz energia elétrica através do seguinte procedimento:

> Quando a luz do sol atinge o painel, que em geral é feito de silício semicondutor, os fótons na luz do sol liberam os elétrons dos átomos no material fotovoltaico para que eles possam escapar das células sob a forma de uma corrente elétrica (GORE, 2010, p. 69).

Tal fonte energética está diretamente relacionada à geração distribuída, considerando sua praticidade e versatilidade em instalações e a necessidade, primordialmente, de disponibilidade de luz solar.

K. Energia Eólica

Apesar da energia eólica não ser totalmente nova, apenas nos últimos anos é que se tornou tão representativa na matriz elétrica dos países no mundo.

De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2010), a energia eólica é proveniente da energia cinética presente nas massas de ar em movimento, ou seja, o vento. E seu aproveitamento "ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas – também denominadas aerogeradores – para a geração de eletricidade".

Gore (2010) complementa dizendo que o parque eólico, geralmente, é composto por torres de três hélices, instaladas em eixo horizontal. Na parte superior das torres estão localizados os equipamentos elétricos, como o gerador elétrico e motor (que direciona o rotor).

L. Energia da Biomassa

Biomassa é todo aquele material orgânico capaz de fornecer, de alguma forma, energia. A fotossíntese, e outros mecanismos, fazem com que a energia seja acumulada nesses orgânicos, tornando-os capazes de fornecê-la e outro dado momento.

De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE (2010), "biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia".

As formas de utilização da biomassa são variadas, de combustão direta, a processos de beneficiamento, como pirólise e gaseificação. Além disso ser vantajoso, pois torna a sua utilização mais flexível, durante o desenvolvimento da planta (quando se trata de uma), ocorre a absorção do carbono, gás poluente na atmosfera.

A principal biomassa conhecida é a madeira, que pode ser consumida *in natura*, ou em forma de carvão vegetal ou lenha. Outras, como a cana de açúcar, além de ser matéria prima para a produção de biocombustíveis, seus resíduos (palha, bagaço e outros) são considerados energéticos importantes na geração de energia através do sistema de cogeração. Sendo este último, um processo que utiliza de uma mesma fonte energética para a produção de energia elétrica e térmica.

M. Geração Distribuída

A Geração Distribuída, conforme já foi dita, surgiu da possibilidade de utilizar das fontes energéticas locais para a geração de energia elétrica. De acordo com a Aneel (2016, p.7), "a geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica".

Inicialmente, a intenção dos geradores de energia *in loco* era a geração e utilização, da energia elétrica, na própria residência ou indústria. Porém, com a produção em excesso, e possibilidades de injetar a energia elétrica na rede da concessionária local, os produtores de energia, nesta classificação, aumentaram. Com isso, para a regulamentação dos mesmos, publicaram-se as Resoluções Normativas nº 482/2014 e nº 687/2015.

A Aneel (2016) ressalta algumas vantagens, ou benefícios, do país contar com pequenos geradores próximos às cargas consumidoras. Dentre outras, "a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; (...) e a diversificação da matriz energética" (ANEEL, 2016, p.7).

V. Considerações Finais

Apesar dos grandes desafios apresentados, o caminho para alcançar um desenvolvimento sustentável tem sido buscado pelos diversos países envolvidos em tais discussões. Conhecer a realidade ambiental do planeta, determinar metas a serem cumpridas, organizar programas para alcançar tais metas, são passos importantes para a garantia de um futuro menos instável, ambientalmente falando.

A partir do estudo e conhecimento das realidades energéticas de cada país, torna-se possível a análise de propostas de melhorias que vão de encontro com as metas ambientais. É de conhecimento de todos que a queima de combustíveis fósseis é responsável por grande parte da emissão dos Gases de Efeito Estufa, prejudiciais ao meio ambiente. Com isso, a inserção de alternativas energéticas renováveis torna-se uma possível solução para a poluição gerada pelo setor energético, principalmente elétrico.

Além disso, as mesmas podem ser inseridas no contexto de geração distribuída, levando a eletricidade para locais que, antes, não possuíam acesso à mesma.

Ainda assim, soluções não devem ser propostas antes do conhecimento profundo das características e problemáticas de cada país ou região. Observa-se variação cultural, geográfica e política, e tais fatos são importantes quando da elaboração de projetos que visam o acesso à energia elétrica.

Diante do apresentado, investir em projetos completos, que levam em consideração o viés ambiental e social, além do econômico, é uma das mais otimistas ações para alcançar os objetivos que os países partícipes assumiram na COP21. Considerando, por fim, o empenho de profissionais competentes, preocupados com o desenvolvimento sustentável de seus países e, consequentemente, de seu planeta.

VI. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de novembro de 2015**. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 13 dez 2016.

_______. **Resolução Normativa nº 482, de abril de 2012**. 2012. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf >. Acesso em: 13 de set., 2016.

_______. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. Brasília: Aneel, 2016.

ARAYA, P. **Desafíos para el acceso universal a La energia limpia en Chile.** In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e Matriz Energética na América Latina. Belo Horizonte, Novembro, 2016. Disponível em .ppt.

BASSANI, M. L.; FERREIRA, L. V. Viabilidade do acesso à energia em zonas rurais ou isoladas no Brasil. In: BRANT, L.N.C. (Org.). **Desenvolvimento sustentável e matriz energética na América Latina:** A universalização do acesso à energia limpa. Belo Horizonte, 2016. p. 215-247.

BUENO, J. **A Matriz Energética Brasileira:** Situação Atual e Perspectivas. Ago. 2013. Disponível em: <http://www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br/Publico/MostrarArquivo.aspx?C=gH1eLtuxzlw%3D>. Acesso em: 28 nov. 2016.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. 2010. Fontes. Disponível em: < http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_adf.ctrl-state=16ja791efn_9&_afrLoop=114646798507215>. Acesso em: 28 nov. 2016.

CHACÓN, R. B. Matriz energética e desenvolvimento sustentável no México. In: BRANT, L.N.C. (Org.). **Desenvolvimento sustentável e matriz energética na América Latina:** A universalização do acesso à energia limpa. Belo Horizonte, 2016. p. 215-247.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL. **Conceituação.** Abr. 2008. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F7507b0aba2e082ff0325740f00649745>. Acesso em: 29 nov. 2016.

CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA. (UNFCCC) ACORDO DE PARIS – COP21. Paris, 30 nov. a 11 dez. de 2015. FCCC/CP/2015/L.9/Ver.1. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acordodeparis/>. Acesso em: 24 nov. 2016.

DINIZ, M. No ano internacional da Luz, 1,5 bilhão de pessoas vivem no escuro pelo mundo. EBC. Agência Brasil. Seção Tecnologia. Jun. 2015. Disponível em: <http://www.ebc.com.br/tecnologia/2015/06/no-ano-internacional-da-luz-15-bilhao-de-pessoas-vivem-no-escuro-pelo-mundo>. Acesso em: 24 nov. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Relatório Síntese Final do Balanço Energético Nacional (BEN)**. Ano base 2015. 2016. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>. Acesso em: 12 dez. 2016.

FRANCO, G.E.J.; GALVÃO, N.; ANDRADE, O.G.de. **A Matriz energética Colombiana e um plano para garantir energia sustentável no país.** In: BRANT, L.N.C. (Org.). Desenvolvimento sustentável e matriz energética na América Latina: A universalização do acesso à energia limpa. Belo Horizonte, 2016. p. 289-322.

FERREIRA, A. . **Energia solar térmica no Brasil cresce 4,5% em 2014; país é o 5º no mundo.** UOL, São Paulo, 24 jun. 2016. Atualizado em 14 nov. 2016. Seção Economia. Disponível em: <http://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2016/06/24/energia-solar-no-brasil-cresce-45-em-2014-pais-e-o-5-em-ranking-mundial.htm>. Acesso em: 13 dez. 2016.

GARCIA, R. **COP 21:** representantes de 195 países aprovam acordo global do clima. G1, Paris, dez. 2015. Atualizado em nov. 2016. Seção Natureza. Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/12/representantes-de-195-paises-aprovam-acordo-global-do-clima.html>. Acesso em: 24 nov. 2016.

GORE, A. **Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática. Our choice: a plan to solve the climate crisis.** Barueri, SP: Manole, 2010.

JOFRÉ, P.A. et al. Desafios para o acesso universal à energia limpa no Chile. In: BRANT, L.N.C. (Org.). **Desenvolvimento sustentável e matriz energética na América Latina:** A universalização do acesso à energia limpa. Belo Horizonte, 2016. p. 161-178.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCT. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília, 2014. 2 ed. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2016. **Conferência das Partes.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/conferencia-das-partes>. Acesso em: 28 nov. 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. ONUBR. Banco Mundial: 1,2 bilhões de pessoas ainda vivem sem eletricidade e 663 milhões sem água potável. Abr. 2016. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/banco-mundial-12-bilhao-de-pessoas-ainda-vivem-sem-eletricidade-e-663-milhoes-sem-agua-potavel/>. Acesso em: 24 nov. 2016.

WORLD WILDLIFE FUND – WWF. BRASIL. As mudanças climáticas. WWF Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/>. Acesso em: 24 nov. 2016.

VII. COPYRIGHT